

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA GOZDARSTVO IN
OBNOVLJIVE GOZDNE VIRE

Jernej REBERNIK

**PROUČEVANJE VPLIVA PADAJOČEGA KAMENJA
V VAROVALNEM GOZDU NA LJUBLJU**

DIPLOMSKO DELO

Univerzitetni študij

Ljubljana, 2013

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA GOZDARSTVO IN OBNOVLJIVE GOZDNE VIRE

Jernej REBERNIK

**PROUČEVANJE VPLIVA PADAJOČEGA KAMENJA V
VAROVALNEM GOZDU NA LJUBELJU**

DIPLOMSKO DELO
Univerzitetni študij

**ROCK FALL HAZARD ASSESMENT OF PROTECTION FOREST
ON LJUBELJ**

GRADUATION THESIS
University Studies

Ljubljana, 2013

Diplomsko delo je zaključek univerzitetnega študija gozdarstva. Opravljeno je bilo na Oddelku za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire Biotehniške fakultete Univerze v Ljubljani.

Komisija za študijska in študentska vprašanja Oddelka za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire BF je dne 26. 10. 2012 sprejela temo in za mentorja diplomskega dela imenovala prof. dr. Jurija Diacija, za recenzenta pa prof. dr. Andreja Bončino.

Komisija za oceno in zagovor:

Predsednik:

Član:

Član:

Datum zagovora:

Diplomsko delo je rezultat lastnega raziskovalnega dela. Podpisani se strinjam z objavo svoje naloge v polnem tekstu na spletni strani Digitalne knjižnice Biotehniške fakultete. Izjavljam, da je naloga, ki sem jo oddal v elektronski obliki, identična tiskani verziji.

Jernej Rebernik

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

ŠD	Dn
DK	GDK 265(497.4Ljubelj)(043.2)=163.6 padajoče kamenje/naravne nevarnosti/varovalna funkcija/zaščitna
KG	funkcija/gospodarjenje z varovalnimi gozdovi/trase žičnega spravila lesa/Rockyfor3D/Rockfor ^{NET} /senčni kot/simulacijski model/Ljubelj
KK	
AV	REBERNIK, Jernej
SA	JURIJ, Diaci (mentor)
KZ	SI-1000 Ljubljana, Večna pot 83
ZA	Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire
LI	2013
IN	PROUČEVANJE VPLIVA PADAJOČEGA KAMENJA V VAROVALNEM GOZDU NA LJUBELJU
TD	Diplomsko delo (univerzitetni študij)
OP	VIII, 71 str., 8 pregl., 29 sl., 3 pril., 55 vir.
IJ	sl
JJ	sl/en
AI	

Nad cesto, ki vodi do predora Ljubelj, so številni izvori kamenja, ki jo ogrožajo. Izločeni in popisani so bili poligoni z lastnosti terena in gozdni sestoji. Postavljenih je bilo 61 raziskovalnih ploskev, na katerih so bila popisana vsa živa drevesa s prsnim premerom večjim od 1,27 cm. Delež bukve v lesni zalogi je znašal 71 %, smreke 22 % in gorskega javorja 3 %. Porazdelitev dreves glede na debelinsko stopnjo je nakazovala negativno eksponentno porazdelitev, če je bila upoštevana samo bukev pa zvonasto, ki je nezaželeno z vidika zagotavljanja trajnih varovalnih učinkov gozda. Priporočen je bil posek starejših bukovih dreves in s tem pospeševanje pomlajevanja. Območja ogroženosti zaradi padajočega kamenja so bila določena z računalniškima programoma Rockyfor3D, Rockfor^{NET} in metodo senčnega kota (funkcija Viewshed v programu ArcMap). Proučeno je bilo tudi, kako se ogroženost ceste spremeni, če so uporabljeni različni scenariji v simulacijah (brez gozda, gozd brez tras žičnega spravila, gozd z dejanskimi trasami, gozd s poševnimi vrzelastimi trasami, gozd s trasami po padnici terena in prebiralni gozd). Bilo je ugotovljeno, da med različnimi scenariji z gozdom ni bistvenih razlik, so pa razlike v velikosti ogroženih območij glede na uporabljeno metodo. Analize s programom Rockyfor3D upoštevajo največ dejavnikov in so najzahtevnejše, vendar dajejo najbolj zaupanja vredne rezultate.

KEY WORDS DOCUMENTATION

DN	Dn
DC	FDC 265(497.4Ljubelj)(043.2)=163.6 rockfall/natural hazards/protection function/protective effect/management of
CX	protection forests/cable crane lines/ Rockyfor3D/Rockfor ^{NET} /shadow angle/simulation model/Ljubelj
CC	
AU	REBERNIK, Jernej
AA	DIACI, Jurij (supervisor)
PP	SI-1000 Ljubljana, Večna pot 83
PB	University of Ljubljana, Biotechnical faculty, Department of forestry and renewable forest resources
PY	2013
TI	ROCK FALL HAZARD ASSESMENT OF PROTECTION FOREST ON LJUBELJ
DT	Graduation thesis (university studies)
NO	VIII, 71 p., 8 tab., 29 fig., 3 ann., 55 ref.
LA	sl
AL	sl/en
AB	

The road that leads to Ljubelj tunnel is threatened by numerous rock sources that lie above. A detailed delineation and description of terrain characteristics polygons and forest stands were performed. 61 sample plots were set up, on which all living trees with DBH above 1,27 cm were measured. Observed share of beech in growing stock was 71 %, spruce 22 % and sycamore maple 3 %. Frequency distribution of tree species by diameter class indicated negative exponential distribution. If only beech trees were considered the distribution changed to bell shaped, which is undesired regarding long-term protection function. Cutting of older beech trees and with that promotion of regeneration is recommended. Areas of rock fall hazard were determined using computer programs Rockyfor3D, Rockfor^{NET} and method of shadow angle (function Viewshed in ArcMap program). Assessment was done of how the endangerment of the road changes if different scenarios are used (forest without cable crane lines, forest with present cable crane lines, forest with cable crane lines positioned diagonal to the slope direction and gape type cutting, forest with cable crane lines that follow the slope direction and plenter forest). Results showed that there are no significant differences between different scenarios with forest, but there are differences in size of endangered areas depending on the used method. Analysis with program Rockyfor3D considered more factors and was more difficult, but gave us more trustworthy results.

KAZALO

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA	III
KEY WORDS DOCUMENTATION	IV
KAZALO	V
KAZALO PREGLEDNIC	VI
KAZALO SLIK	VII
1 UVOD	1
2 PREGLED LITERATURE	2
2.1 METODE OCENJEVANJA TVEGANJA PRED PADAJOČIM KAMENJEM	2
2.2 RAZISKAVE S PODROČJA PADAJOČEGA KAMENJA	7
2.3 VAROVALNI GOZD	14
3 NAMEN NALOGE, CILJI IN HIPOTEZE	23
4 PREDSTAVITEV OBMOČJA RAZISKAVE	24
4.1 PROSTORSKA UMEŠČENOST	24
4.2 ZNAČILNOSTI OBJEKTA RAZISKAVE	24
4.3 ANALIZA PRETEKLEGA GOSPODARJENJA	27
5 METODE DELA	30
5.1 METODE TERENSKEGA DELA	30
5.1.1 Ocena lastnosti terena	30
5.1.2 Popis ploskev	31
5.1.3 Opis sestojev	32
5.2 METODE ANALIZE PODATKOV	33
5.2.1 Analiza podatkov v Excelu	33
5.2.2 Izvedba simulacij v programu RockFor ^{NET}	33
5.2.3 Program Rockyfor3D V5.1	34
5.2.3.1 Priprava podatkov in datotek za vnos v program	35
5.2.3.2 Izvedba simulacij v programu Rockyfor 3D	37
5.2.4 Metoda senčnega kota	39
6 REZULTATI	40
6.1 SPLOŠNA PODOBA GOZDA	40
6.2 ANALIZA OGROŽENOSTI S PROGRAMOM ROCKFOR ^{NET}	45
6.3 ANALIZA OGROŽENOSTI S PROGRAMOM ROCKYFOR3D	46
6.4 KARTA OGROŽENOSTI Z METODO SENČNEGA KOTA	52
7 DISKUSIJA	53
7.1 SPLOŠNA PODOBA GOZDA	53
7.2 ANALIZA OGROŽENOSTI S PROGRAMOM ROCKFOR ^{NET}	54
7.3 ANALIZA OGROŽENOSTI S PROGRAMOM ROCKYFOR3D	56
7.4 METODA SENČNEGA KOTA	59
7.5 PRIMERJAVA Z DRUGIMI RAZISKAVAMI	59
8 ZAKLJUČEK	62
9 POVZETEK	64
10 VIRI	66
ZAHVALA	72
PRILOGE	73

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Pospeševalni in prožilni dejavniki padajočega kamenja (prirejeno po: Krautblatter in Dikau, 2007: 25).....	11
Preglednica 2: Pogostnost različnih vrst udarcev in učinkovitost dreves pri zaustavljanju kamenja ob različnih vrstah udarcev (prirejeno po: Dorren in Berger, 2006c: 69).....	13
Preglednica 3: Prikaz funkcij gozdov v obravnavanih oddelkih (prirejeno po: Pregledovalnik, 2013).....	27
Preglednica 4: Realiziran posek (v m ³) v letih 1995-2004 (Gozdnogospodarski načrt ..., 1995).....	28
Preglednica 5: Realiziran posek (v m ³) v letih 2005-2012 (Gozdnogospodarski načrt ..., 2005).....	29
Preglednica 6: Stabilnost prevladujočih drevesnih vrst (N=1937 dreves).....	44
Preglednica 7: Rockfor ^{net} rezultati za izvore, ki ogrožajo gozdno ali regionalno cesto.....	46
Preglednica 8: Pregled parametrov pri izračunu števila odloženih skal (1.362.000 spuščenih skal).....	52

KAZALO SLIK

Slika 1: Razlaga principa izražanja dejanske gozdne strukture z virtualnimi vrstami (zavesami) dreves (prirejeno po: Berger in Dorren, 2007: 159).....	3
Slika 2: Minimalni (M) in maksimalni (F) senčni kot (Meissl, 1998, cit. po Dorren, 2003) 5	
Slika 3: Slika z različnimi stopnjami nevarnosti (prirejeno po: Jaboyedoff in sod., 2005: 622)	6
Slika 4: Tipi udarcev v drevo glede na oddaljenost od srednje vertikalne osi drevesa (prirejeno po: Dorren in sod., 2005: 188)	13
Slika 5: Hipotetična odpornost dveh raznodobnih sestojev (A in B) in enodobnega sestoj (C) ob predpostavki, da varovalno funkcijo zagotavljajo odrasla drevesa. A ima bolj pogoste in kratke sečne dobe kot B. Najbolj primeren je sestoj A, a noben ne dosega maksimalne odpornosti sestoj C (prirejeno po: O'Hara, 2006: 51).....	18
Slika 6: Razvojne faze gorskega gozda v povezavi z varovalno funkcijo, ki jo nudijo (prirejeno po: Dorren in Berger, 2006b: 206).....	21
Slika 7: Lokacija proučevanega območja (v rdečem kvadratu) (vir: Geopedia)	24
Slika 8: Kombinirani klimatogram s padavinami merilne postaje Podljudelj in temperaturami merilne postaje Planina pod Golico za obdobje 1977-2012 (prirejeno po: Arhiv, 2013).....	25
Slika 9: Prikaz območja raziskave, oddelkov, odsekov in raziskovalnih ploskev (prirejeno po: Pregledovalnik, 2013).....	26
Slika 10: Podatki o povprečnem letnem dnevnem prometu za odsek ceste od mejnega prehoda Ljubelj do Tržiča.....	27
Slika 11: Ponazoritev povprečnih višin ovir (MOH) na 70 %, 20 % in 10 % površine znotraj homogenega območja na pobočju (Dorren, 2012).....	31
Slika 12: Program RockyFor3D z vnesenimi parametri.....	38
Slika 13: Porazdelitev števila dreves po drevesnih vrstah.....	41
Slika 14: Porazdelitve lesne zaloge glede na drevesne vrste	41
Slika 15: Porazdelitev dreves po debelinskih stopnjah.....	42
Slika 16: Porazdelitev dreves po debelinskih stopnjah na ploskvah z več kot 40 % deležem iglavcev	43
Slika 17: Porazdelitev dreves po debelinskih stopnjah na ploskvah z manj kot 40 % deležem iglavcev.....	43
Slika 18: Porazdelitev dreves po debelinskih stopnjah v prebiralnem gozdu.....	44
Slika 19: Karta ogroženosti kot rezultat dela v Rockfor ^{NET} . V okvirju so vrednosti PRH, vrednosti izven okvirja označujejo izvore.	45
Slika 20: Karta ogroženosti za scenarij brez gozda (enote v legendi so v kN).....	47
Slika 21: Karta ogroženosti za scenarij z gozdom in dejanskimi trasami (enote so v kN)..	48
Slika 22: Karta ogroženosti za scenarij z vrzelastimi trasami (enote v legendi so v kN)....	48
Slika 23: Karta ogroženosti za scenarij s prebiralnim gozdom (enote v legendi so v kN)..	49
Slika 24: Profilni grafi rastrov s povprečno energijo padajočega kamenja za tri scenarije.	49
Slika 25: Profilni grafi rastrov s povprečno energijo padajočega kamenja za štiri scenarije	50
Slika 26: Profilni grafi rastrov s številom odloženega kamenja za tri scenarije	50
Slika 27: Profilni grafi rastrov s številom odloženega kamenja za štiri scenarije	51
Slika 28: Primerjava profilnih grafov s povprečno energijo kamenja in s št. odloženega kamenja	51
Slika 29: Zemljevid največjega dosega kamenja (metoda senčnega kota) z izločenimi izvori kamenja.....	52

KAZALO PRILOG

Priloga A: obrazec za popis ploskve – prva stran	73
Priloga B: obrazec za popis ploskve – druga stran	74
Priloga C: obrazec za popis lastnosti terena	75

1 UVOD

Slovenski alpski prostor je podvržen nezaželenim dogodkom, kot so snežni in zemeljski plazovi, drobirski tokovi, padajoče kamenje ipd. Naloga je bila izdelana v sklopu projekta "Varovalni gozdovi: razvojne zakonitosti, ocene tveganja, usklajevanje gojenja gozdov in tehnologij izkoriščanja", ki so ga izpeljali na Katedri za gojenje gozdov. V nalogi smo podrobneje analizirali nevarnost padajočega kamenja na odseku ceste, ki vodi od predora Ljubelj do prve serpentine.

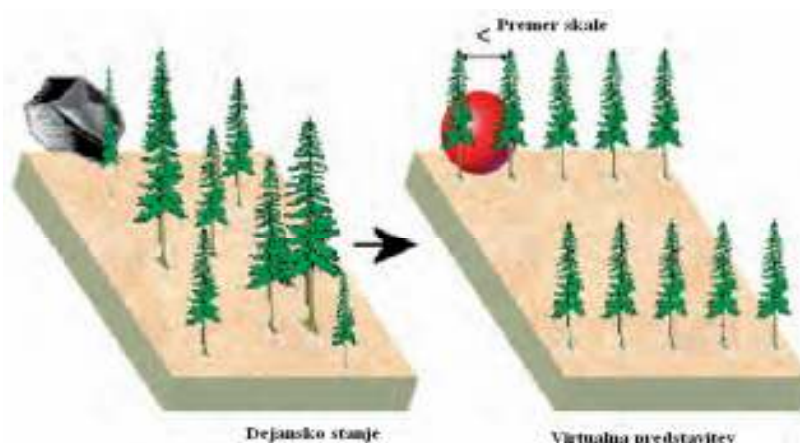
Gozdovi imajo pomembno vlogo pri zaustavljanju in zmanjševanju hitrosti in s tem tudi energije padajočega kamenja. Gozdovi, ki so podvrženi tem procesom, imajo poudarjeno varovalno funkcijo, če ščitijo še ljudi in njihovo premoženje pa tudi poudarjeno zaščitno funkcijo. Na objektu raziskave sta bili prisotni obe funkciji. Pomen varovalnih gozdov so prepoznale številne države. Pri nas gospodarjenje v varovalnih gozdovih nima dolge tradicije, saj je prevladovalo mišljenje, da je najboljši ukrep neizvajanje sečnje. Vendar na ta način varovalni učinki gozdov dolgoročno nazadujejo. Gospodarjenje v teh gozdovih je zahtevnejše s finančnega, ergonomskega in načrtovalskega vidika, ker se tu ne posvečamo povečevanju donosa, ampak povečevanju njihovih zmožnosti, da varujejo ljudi in njihovo lastnino.

V Sloveniji se proučevanju vpliva gozda na padajoče kamenje ni posvečalo velike pozornosti. Na našem objektu raziskave smo proučevali vpliv različnega gospodarjenja na ogroženost ceste zaradi padajočega kamenja. Oblikovali smo scenarije z različnimi trasami žičnega spravila in še dodatnega s prebiralnim gozdom. Z različnimi metodami, ki zajemajo računalniško simuliranje, smo ovrednotili ogroženost obravnavanega cestnega odseka in jih tudi primerjali med seboj.

2 PREGLED LITERATURE

2.1 METODE OCENJEVANJA TVEGANJA PRED PADAJOČIM KAMENJEM

Berger in Dorren (2007) sta v članku opisala način delovanja programa Rockfor^{NET} ter potek poizkusa, pri katerem so spustili 57 skal s premerom 1 meter po pobočju, da bi lahko umerili parametre, uporabljene v izračunavanju programa. Osnovna ideja (slika 1) je, da program razume gozd kot zaporedje mrež za lovljenje kamenja, ki pa so v bistvu vrste dreves, imenovane zavesa (ang. curtains). Program izračuna količino celotne energije, ki jo razvije padajoči kamen po principu energijske črte (kot energijske črte je določen na 31°), nato pa izračuna »zmožnost razpršitve energije« (ang. dissipative capacity) za vsako zaveso in število potrebnih zaves za popolno razpršitev celotne energije padajočega kamenja. Število potrebnih zaves se pretvori v potrebno temeljnico sestoj. Nazadnje program izračuna temeljnico, na katero kamen teoretično naleti med potjo skozi sestoj. Varovalno vlogo (PRH – ang. probable residual hazard oz. verjetnost tveganja pred padajočim kamenjem) pa določi z medsebojno primerjavo potrebne temeljnice za popolno razpršitev energije in teoretične temeljnice – na katero naj bi kamen naletel med svojo potjo. Rezultati so pokazali, da je po principu energijske črte izračunana absolutno maksimalna hitrost kamenja rahlo podcenjena, povprečna maksimalna hitrost pa precenjena, če ju primerjamo z izmerjenimi na terenu. Statistični testi so pokazali, da med dejansko in teoretično temeljnico, na katero naleti kamen ni statistično značilnih razlik. Končni rezultat je vrednost PRH, ki predstavlja delež skal, ki pride skozi sestoj. Parametri, uporabljeni v programu, temeljijo na meritvah na enem pobočju, a glede na potrditvene teste s podatki iz preteklih dogodkov, gozdnih inventur, kjer so popisali zaustavljeno kamenje in drugih raziskav o padajočem kamenju, sklepajo, da se program dobro obnese tudi na drugih tipih pobočij.



Slika 1: Razlaga principa izražanja dejanske gozdne strukture z virtualnimi vrstami (zavesami) dreves (prirejeno po: Berger in Dorren, 2007: 159)

Dorren in sod. (2006) so predstavili dva nujna koraka za izboljšavo raziskav, ki se ukvarjajo z oceno tveganja pred nevarnostjo padajočega kamenja. Prvi je kvantificirati učinek varovalnega gozda in drugi, ki je tudi cilj te študije, je razviti jasno metodo za kvantificiranje in modeliranje značilnosti površja pobočja. Slednji temelji na kvantitativnih podatkih, ki so jih dobili s spuščanjem skal po pobočju, s tem znanjem so skušali izboljšati model Rockyfor3D. Kot problematičen del modeliranja so izpostavili simulacijo odbojev skal, ki so izračunani preko tangencialnega in normalnega koeficienta izgube energije (znana tudi kot koeficienta obnovitve - ang. coefficients of restitution), običajno izpeljana le iz literature. Pri lokalnih raziskavah metoda za njuno določitev na terenu ne obstaja. Zato so razvili algoritem za izračun tangencialnega koeficienta obnovitve. Hoek (2007) je definiral koeficient obnovitve kot matematično predstavljeno sposobnost površinskega materiala, ki zaustavlja padajoče in kotaleče kamenje. Dorren in sod. (2004) so dokazali, da je tangencialni koeficient obnovitve najpomembnejši parameter pri ugotavljanju upočasnevanja hitrosti skal. Dorren in sod. (2006) so na terenu ugotavljali energijo skale in njeno hitrost ob trku s pomočjo kamere za snemanje pri visokih hitrostih in znane teže spuščene skale. Ugotovili so tudi, da obstaja povezava med MOH (ang. mean obstacle height – povprečna višina ovire padajočemu kamenju) in tangencialnim koeficientom obnovitve. Dorren (2012) je obrazložil MOH kot kazalec, ki je tesno povezan s hrapavostjo. Hrapavost predstavljajo verjetnostni razredi RG70, RG20 in RG10, ki se skladajo MOH vrednostmi in označujejo višino ovire, na katero naleti padajoče kamenje v 70 %, 20 % in 10 % primerov. Po Dorren in sod. (2006) primerjava podatkov, pridobljenih

s simulacijo, in dejanskih podatkov kažeje, da nadgrajeni program Rockyfor3D na lokalnem nivoju izračuna dokaj zanesljive podatke. Program lahko posnema dejansko padanje kamenja s 15 % do 20 % napakami. Program preceni povprečno hitrost in podceni višine odboja kamenja. Za nadaljnjo izboljšanje je potrebno pridobiti več podatkov o zmožnosti grmovja za razprševanje energije, o obliki in velikosti kamenja, tangencialnem in normalnem koeficientu obnovitve in učinku, ki ga ima material na pobočju (hrapavost).

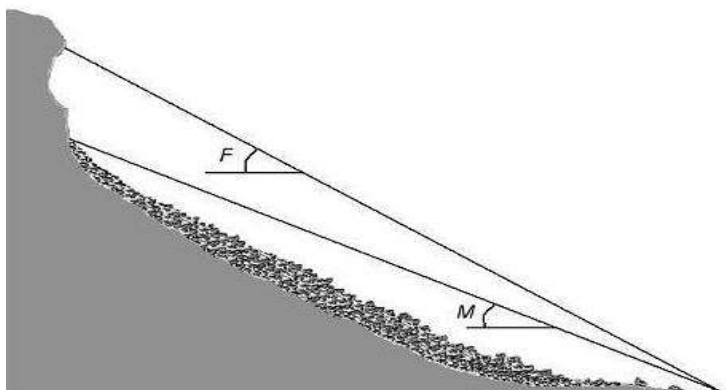
Potem ko se je zgodila večja sprožitev kamenja leta 1987, so Bigot in sod. (2009) želeli oceniti učinkovitost izvedenih ukrepov za povečanje varovalne funkcije gozda. Pri tem so uporabili podatke o izrednem dogodku leta 1987, in sicer dendrokronološke podatke za oblikovanje scenarijev rasti gozda in programa Rockfor^{NET} in Rockyfor3D. Izdelali so scenarije z gozdno vegetacijo pred sprožitvijo kamenja (leto 1987), sedanjo vegetacijo (leto 2006) in predvidenim stanjem leta 2046 in 2086. Rezultati izvedenih simulacij kažejo, da se verjetnost tveganja pred padajočim kamenjem (PRH) od leta 1987 dalje povečuje. Vrednosti PRH so pri Rockfor^{NET} večje, ker program upošteva le en volumen skale – običajno upoštevamo največjega. Zaključili so, da ukrepi niso bili učinkoviti, bili so celo škodljivi, ker se je gostota dreves v sestoju preveč zmanjšala.

Brauner in sod. (2005) so v raziskavi zagovarjali trditev, da je za oceno nevarnosti najboljše orodje, ki združuje verjetnost trka, izraženo z razdaljami med trki in razpršitev energije med trkom z drevesom. Predstavili so koncept, v katerem so ustvarili orodje za oceno števila trkov kamenja z drevesi, temelječ na pogostosti trkov za vsak individualen dogodek posebej in orodje za oceno potenciala razprševanja energije pri vsakem trku. S povezavo teh dveh orodij in simulatorja rasti gozda (PROGNAUS) so dosegli ocenitev varovalnega učinka alternativnega gozda z drugačnim scenarijem razvoja.

Modeli za simulacijo padajočega kamenja uporabljajo za izračun odbojev kamenja od pobočja koeficiente obnovitve, ki so subjektivne narave, zato so Bourrier in sod. (2009) razvili stohastični model trkov, ki je bolj objektivna metoda. Vključili so ga tudi v model Rockyfor3D. Model je bil v tej fazi primeren samo za kamnito podlago, za druge tipe podlag pa ne. Deterministični modeli so namreč nezanesljivi, saj mehanske in geometrične

značilnosti zemlje niso dovolj za izvedbo primerne determinističnega predvidevanja odbojev skale.

Dorren (2003) je razvrstil obstoječe modele napovedovanja tveganja pred nevarnostjo padajočega kamenja v tri skupine: empirični modeli, procesno temelječi modeli in GIS modeli ter povzel njihova osnovna načela delovanja in zmožnost napovedovanja con izteka. Pri empiričnih modelih je razložil minimalni in maksimalni senčni kot, ki ga bomo uporabili tudi v tej nalogi. To so, poenostavljeno, ravne črte od najvišje točke pobočja ali skalnega izvora do točke, kjer se ustavi najbolj oddaljena skala nekega dogodka proženja kamenja (slika 2). Ta metoda je le prva ocena dolžine cone odlaganja kamenja. Avtor je zaključil, da je za napovedovanje con izteka padajočega kamenja na regionalnem nivoju najbolj obetajoča združitev procesno temelječega in GIS modela.



Slika 2: Minimalni (M) in maksimalni (F) senčni kot (Meissl, 1998, cit. po Dorren, 2003)

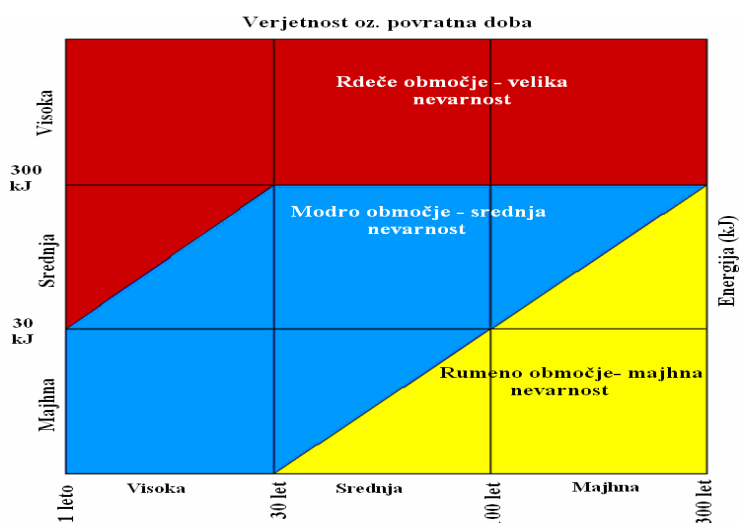
Dussage-Peisser in sod. (2002) so ugotovili, da lahko preko statističnih analiz preteklih dogodkov padanja kamenja ustvarijo verjetnostno orodje za kvantifikacijo pogostnosti padanja kamenja na nivoju celotne stene v prihodnosti. Za opis razpršitve kamenja glede na volumen so uporabili potenčni zakon.

Hantz in sod. (2003) so razvili HGP (historical, mechanical, probabilistic) metodo za ocenjevanje nevarnosti padajočega kamenja, ki temelji na zgodovinskem, geomehanskem in verjetnostnem pristopu. Večja, potencialno nestabilna skalovja so ocenili glede na njihove geomehanske lastnosti in jih razdelili v razrede, ki se skladajo z različnimi verjetnostmi za nastanek nestabilnosti. Z združitvijo zgodovinskih in geomehanskih analiz

se nato lahko oceni še magnitudo dogodkov v različnih razredih. Bolj natančno so metodo opisali še na terenskem primeru.

Raetzo in sod. (2002) so v članku opisali stanje v Švici, kjer morajo kantoni napraviti karte naravnih nevarnosti. Predlagani koraki pri tem so bili identifikacija nevarnosti, ocena nevarnosti in upravljanje ogroženih območij. Ocena nevarnosti pomeni, da je potrebno oceniti magnitudo in povratno dobo dogodka. Za prikaz nevarnih območij uporabljajo zemljevid, ki upošteva intenziteto dogodka (kinetično energijo) in verjetnost dogodka (povratno dobo). Takšen zemljevid je temeljni dokument za upravljanje z ogroženimi območji. Glede na stopnjo nevarnosti so območja različno obarvana (prikazano na sliki 3):

- Rdeče, ki pomeni veliko nevarnost. Energija kamenja je večja od 300 kJ (kar je tudi odpornost armirane betonske stene), pogostost je večja od ene skale na 300 let. Možno je popolno uničenje hiš.
- Modro, ki pomeni srednjo nevarnost. Energija padajočega kamenja je manjša od 300 kJ. Velja pri visoki pogostosti dogodkov z energijo manjšo od 30 kJ (kar je tudi odpornost pregrade iz hrasta) in majhni pogostosti dogodkov z energijo med 30 in 300 kJ. Možne so poškodbe nebetonskih hiš.
- Rumeno, ki pomeni majhno nevarnost. Pričakovana energija je manjša od 30 kJ za dogodke s povratno dobo 100 let in manjša od 300 kJ za dogodke s povratno dobo 300 let. Možne so manjše poškodbe objektov.
- Belo, ki predstavlja območja brez nevarnosti.



Slika 3: Slika z različnimi stopnjami nevarnosti (prirejeno po: Jaboyedoff in sod., 2005: 622)

Jaboyedoff in Labiouse (2003) sta v članku predstavila metodo stožca, ki je uporabna za predhodno kartiranje nevarnosti padajočega kamenja na lokalnem ali regionalnem nivoju in je v obliki programske opreme CONEFALL. Na regionalnem nivoju je ta metoda uporabna za zgodnjo zaznavo konfliktov med rabo tal in nevarnostjo padajočega kamenja. Na lokalnem nivoju pa lahko rezultate nadgradimo s klasifikacijo cone odlaganja padajočega kamenja na dokazano, izpeljano, potencialno ali neverjetno. Ta metoda je 3D posplošitev že znane metode senčnega kota (slika 2). Metodologija je v skladu s švicarskimi smernicami, ki so obravnavane v prej omenjenem članku, a je premalo natančna za oceno nevarnosti, ki vključuje magnitudo in povratno dobo dogodkov.

2.2 RAZISKAVE S PODROČJA PADAJOČEGA KAMENJA

Dorren in sod. (2007) so trdili, da je za cenovno ugodno zaščito pred padajočim kamenjem potrebno vedeti, kakšne jakosti so dogodki padajočega kamenja, in kje se pojavljajo, kolikšen je pozitiven učinek gozda na zmanjšanje nevarnosti, ter kako lahko izboljšamo varovalno funkcijo gozda. To so ugotavljali na različnih območjih, ki se tvorijo na pobočju s padajočim kamenjem:

- izvorno območje, ki je običajno skalna stena. Tu lahko ocenimo pospeševalce in prožilce padajočega kamenja,
- prehodno območje leži med izvornim in odlagalnim območjem. Hitrosti kamenja in višine odbojev so tu največje,
- območje odlaganja je tisto, kjer se večina kamenja ustavi.

Opisali so različne metode za analizo velikosti kamenja v izvornem območju in razpršitev kamenja po velikosti v območju odlaganja, podane so njihove prednosti in slabosti pri uporabi. V članku so povzeli metode za ocenjevanje pogostnosti proženja kamenja, kot so:

- na podlagi zgodovinskih podatkov (če so okoljski dejavniki skozi čas nespremenjeni),
- primerjava stopnje preperevanja kamenja na strani, kjer je bil pritrjen na steno s stranjo, ki je bila izpostavljena dejavnikom okolja še preden se je kamen ločil od stene in
- datiranje s pomočjo lišajev in dendrogeomorfološko datiranje.

Raziskava Langa in sod. (1999) je poleg že naštetih metod povzela še radiokarbonsko datiranje, predvsem so se osredotočili na nove tehnike analize, kot so AMS - Accelerator Mass Spectrometry, TIMS - Thermally Ionising Mass Spectrometry in Laser Fusion, s katerimi se korenito izboljša že uveljavljene metode datiranja. Poleg tega so predstavili uporabnost novih, neodvisnih metod datiranja, kot so OSL - Optically Stimulated Luminescence in ART - Alpha Recoil Track.

Perret in sod. (2006) so s pomočjo dendrogeomorfologije rekonstruirali pretekle dogodke padajočega kamenja v francoskih Predalpah in ugotovili, da kamenje v zadnjem stoletju pada čedalje pogosteje. Sezonsko gledano je največ kamnov padlo v dormantni sezoni, verjetno v zgodnji pomladi. Povprečne zimske in poletne temperature so bile v korelaciji s pogostostjo padajočega kamenja. Večje temperature namreč nakazujejo večjo pogostost padajočega kamenja, nižje temperature pa manjšo pogostost. Podobne korelacije s padavinami niso odkrili. Stoffel (2006) navaja določene slabosti dendrogeomorfologije. Opozarja, da je potrebno biti zelo previden pri izbiri višine in globine vzorčenja v deblu, ker s tem močno vplivamo na kvaliteto in kvantiteto podatkov, poškodbe pa so lahko preraščene in skrite očem. Predlaga bolj naključno izbiro dreves, da bi se izognili precenitvi ali podcenitvi pojavljanja padajočega kamenja.

S podobno temo sta se ukvarjala tudi Sass in Oberlacher (2012). Proučevala sta obdobje od približno 1900 do 2010 in ugotovila, da je korelacija med padanjem kamenja in temperaturo zelo šibka in torej ne kaže jasne povezave med povečanjem količine padajočega kamenja in toplejšimi obdobji. Višek dogodkov je spomladi, v zadnjih desetletjih se pojavi še poleti. Avtorja predvidevata, da se bo s toplejšimi poletji povečalo število dogodkov v območjih občasnega permafrosta in opozarjata, da je podatkovna zbirka, s katero sta delala, nepopolna, zato je potrebna previdnost pri razlagi rezultatov.

Drevo lahko razprši kinetično energijo skale ob njenem trku na različne načine. Po Zinggeler (1989, cit. po Brauner in sod., 2005) poznamo razpršitev energije zaradi:

- deformacij koreninskega sistema,
- ukrivljanja in lomljenja debla,
- zračnega upora krošnje in

- dinamičnega nihanja debla.

Po raziskavah Meissla (1998, cit. po Brauner in sod., 2005) so pobočja z naklonom več kot 30° potencialni izvori kamenja ali pa potencialna prehodna območja. Zmožnost pogozdene površine za razpršitev energije, ki nastane ob proženju kamenja, izvira iz:

- kontakta skale z deblom drevesa, ki lahko adsorbira do 80 % kinetične energije skale,
- kontakta skale z grmovjem oz. talno vegetacijo,
- zmožnosti gozdnih tal, da absorbirajo veliko količino energije zaradi biološke aktivnosti in detritusa ter
- velike hrapavosti površja zaradi vegetacije in odmrlih dreves.

Maksimalna zmožnost sestoja za razprševanje energije je omejena in odvisna od prsnega premera drevesa, gostote sestoja, ki vpliva na povprečno razdaljo med kontakti skale z drevesom in vitalnosti sestoja (Hoesle, 2001, cit. po Brauner in sod., 2005).

Dorren in sod. (2005) so v primerjavi gozdnatega in primerljivega negozdnatega pobočja ugotovili, da se v gozdnatem pobočju ustavi do 63 % več skal kot v negozdnatem. Na gozdnatem se zmanjša tudi višina odboja skale (33 % manjša srednja višina odboja skale) in njena hitrost (v povprečju 26 % manjša hitrost). Opazili so tudi, da je bolj kot učinkovitost drevesa pri razprševanju energije pomembno število trkov skale v drevo. Zato priporočajo, da je za učinkovito zaščitno funkcijo pomembnejše večje število dreves kot pa njihova debelina.

Po Gsteigerju (1993) razdalja med drevesi ne bi smela biti večja kot 20 m, ker skala doseže najvišjo hitrost že po 40 m, če predhodno ne trči v drevo. Za oceno povprečne razdalje med dvema kontaktoma je predlagal koncept povprečne razdalje med drevesi (MTFD - mean tree free distance), ki se ga izračuna kot:

$$MTFD_{ba} = \frac{Area}{Nrstems(R_{diam} + \sqrt{(4G_{tot})/(\pi Nrstems)})} \quad \dots(1)$$

Area = ocenjena velikost območja (m²)

Nrstems = št. dreves na območju

R_{diam} = povprečni premer kamenja, ki pade na območje (m)

G_{tot} = celotna temeljnica na območju

Jahn (1988, cit. po Dorren in sod., 2005) je dokazal, da za manjše skale (premera med 0,13 m in 0,45 m) zadostujejo drevesa z manjšimi premeri, če je sestoj dovolj gost. Do podobnih rezultatov so prišli tudi Jancke in sod. (2009), ki so ugotovili, da najboljšo zaščito pred kamenjem s premerom do 20 cm, nudijo sestoji mlajši od 30 let in z gostoto 5.000 dreves/ha - 10.000 dreves/ha.

Obstoječa priporočila za gospodarjenje v varovalnih gozdovih omenjajo Schwitterjevo (1998, cit. po Dorren in sod., 2005) pravilo palca, po katerem mora povprečni premer dreves v sestoji znašati najmanj 1/3 premera prevladujočih skal. Pozornost je potrebno usmeriti na območje izvora kamenja, kjer imajo drevesa večinoma negativen učinek, saj s koreninami delujejo kot klin ter povečujejo že obstoječe razpoke in preperevajo "živo" skalo. Nestabilna drevesa in drevesa z velikimi koreninami v skalnih razpokah je zato potrebno odstraniti.

Dorren in sod. (2005) so s terenskimi preizkusi ugotovili, da se sčasoma lahko razvije brezdrevesna pot za padajoče kamenje ali tokava (ang. couloir). Za zmanjšanje njenih učinkov svetujejo posek dreves na obeh straneh tokave, diagonalno na smer pobočja.

Kriteriji za posek dreves so:

- njihova pozicija in tendenca rasti glede na tokavo,
- prsni premer dreves, debelejša drevesa so ugodnejša, najboljša so večvrhata,
- (ne)stabilnost dreves,
- učinek, ki ga bo imel posek na pomlajevaje.

Drevo se lahko podre tako, da se usmeri kamenje v bolj gost sestoj ali v območje z visoko hrapavostjo površja. Če je tokava postala pravi jarek, pa se lahko to izkoristi in preusmeri

skale v jarek, če je na koncu jarka postavljena ustrezna zaščita – mreža ... Drevesa je potrebno posekati višje kot v običajnem gozdu ($>1,3$ m), ker lahko gnil in prenizek štor deluje kot odskočna deska za skalo.

Pri vzrokih za padajoče kamenje ločimo pospeševalce in sprožilce. Pospeševalci pripravijo kamen do tega, da lahko pade. Sprožilci pa sprožijo ločitev kamenja od stene in njegov padec (Dorren, 2003). Krautblatter in Dikau (2007) sta jih bolj podrobno razvrstila (preglednica 1).

Preglednica 1: Pospeševalni in sprožilni dejavniki padajočega kamenja (prirejeno po: Krautblatter in Dikau, 2007: 25)

DEJAVNIK	POSPEŠEVALNI FAKTOR	SPROŽILNI FAKTOR
padavine in vodni pritisk	pomemben	zelo pomemben
razpoke zaradi zmrzali	zelo pomemben	manj pomemben
tajanje snega in ledu		zelo pomemben
kemično preperevanje	zelo pomemben	manj pomemben
mehanski vplivi	pomemben	manj pomemben
potresi	pomemben	zelo pomemben
hoja živali		pomemben
polzenje materiala		pomemben
temperaturni stres	pomemben	manj pomemben
veter		pomemben
vrivanje korenin v skalne razpoke	pomemben	manj pomemben

V večini primerov je proženje kamenja kombinacija delovanja več faktorjev in časa (Dorren, 2003).

Ko se kamen loči od izvora, je oblika njegovega nadaljnjega premikanja v največji meri odvisna od povprečnega naklona pobočja (Dorren, 2003). Poznamo:

- prosti pad, ki se zgodi le na zelo strmih pobočjih. Po Ritchie (1963, cit. po Dorren, 2003) je to takrat, ko je naklon terena pod izvorom proženja večji

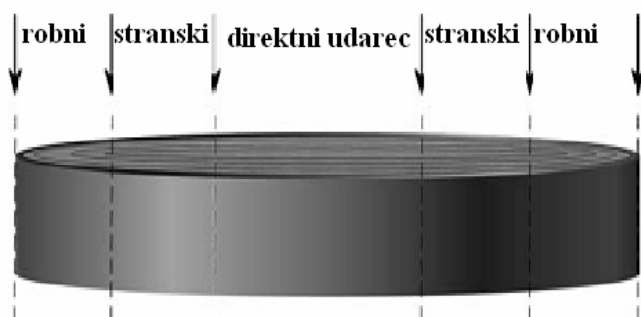
od 76° . Številka se spreminja v odvisnosti od lastnosti terena. Azzoni in sod. (1995, cit. po Dorren 2003) so ugotovili, da med padanjem lahko pride do dveh gibanj. Prvo je premik težišča skale, drugo je vrtenje skale okoli svojega centra. Vrtenje je pomembno, ker lahko skala, ko pride v kontakt s tlemi, zaradi nje skoči v drugo smer od predvidene.

- Premikanje po ali blizu površja pobočja. Če se, gledano po pobočju navzdol, naklon terena po prostem padu zmanjšuje, se skala začne odbijati od tal. Skala pri prvem kontaktu po prostem padu izgubi 75–86 % energije, ki jo je pridobila med prostim padom (Evans in Hungr, 1993). Če je naklon manjši kot 45° , se poskakovanje postopoma spremeni v kotaljenje, ker skala pridobi vrtilni moment (Hungr in Evans, 1988, cit. po Dorren 2003). Med prehodom iz poskakovanja v kotaljenje se skala vrti zelo hitro, pri čemer so le njeni najdaljši robovi v stiku s podlago. Do drsenja pride le v začetni ali končni fazi premikanja. Če se povprečni naklon pobočja ne poveča, se skala običajno ustavi zaradi izgube energije s trenjem.
- Različnim načinom premikanja sledi upočasnjevanje, ki je v največji meri odvisno od povprečnega naklona pobočja, drugi dejavniki so še velikost skale, vrsta materiala na površju terena in prisotnost vegetacije. Večje skale se težje upočasnijo kot manjše, ker imajo večjo kinetično energijo, ovire (npr. drevesa) lažje zaustavijo manjše kot večje skale, manjše skale se lahko zaustavijo v praznih prostorih med večjimi skalami. Zato se velikost ustavljenih skal povečuje, gledano po pobočju navzdol (Evans in Hungr, 1993). Zaustavitev kamenja je običajno nenaden in ni postopen proces.

Dorren in Berger (2006c) sta ugotovila, da je zmožnost posameznih živih dreves za razpršitev energije, ki se sprosti ob padanju kamenja drugačna, kot to predvidevajo prejšnje raziskave. To trdita, ker so raziskave opravljene le na statičnih testih puljenja drevesa ali pa testih z dinamičnimi udarci v vzorce lesa. Na terenu sta spuščala skale po pobočju, pri izračunu energije sta si pomagala s kamerami za snemanje pri visokih hitrostih. Definirala sta tri glavne tipe udarcev kamna v drevo, glede na oddaljenost udarca od srednje vertikalne osi drevesa (slika 4):

- direktni udarec,

- stranski udarec
- in robni udarec.



Slika 4: Tipi udarcev v drevo glede na oddaljenost od srednje vertikalne osi drevesa (prirejeno po: Dorren in sod., 2005: 188)

Prišla sta do treh glavnih ugotovitev. Odvisnost med premerom jelke in maksimalno energijo, ki jo lahko drevo razprši, je eksponentna oziroma energija, ki jo lahko razprši živo drevo (jelka) eksponentno narašča z njegovim prsnim premerom. Drugič, prej omenjena eksponentna odvisnost se lahko prenese tudi na druge drevesne vrste preko znanih vrednosti energij preloma. In tretjič, zmožnost drevesa, da razprši energijo, je odvisna od višine udarca skale. Predstavila sta tudi ugotovljeno pogostnost treh vrst udarcev skal v drevo in njihovo učinkovitost pri zaustavljanju kamnov (preglednica 2).

Preglednica 2: Pogostnost različnih vrst udarcev in učinkovitost dreves pri zaustavljanju kamenja ob različnih vrstah udarcev (prirejeno po: Dorren in Berger, 2006c: 69)

VRSTA UDARCA	POGOSTOST (N=286)
direktni	63,8 % (od tega 14,0 % učinkovitih)
stranski	20,0 % (od tega 20,0 % učinkovitih)
robni	16,2 % (od tega 0,0 % učinkovitih)

Dorren in sod. (2004) so s simulacijskim modelom ugotovili, kateri so dejavniki, ki najbolj vplivajo na razporeditev prizadetih območij zaradi padajočega kamenja na proučevani lokaciji. Ti dejavniki v padajočem vrstnem redu pomembnosti so:

- stoječa in podrtja drevesa,
- hrapavost pobočja in
- grmovna plast.

2.3 VAROVALNI GOZD

Glede na 43. člen Zakona o gozdovih (2007) so varovalni gozdovi tisti gozdovi, ki v zaostrenih ekoloških razmerah varujejo sebe, svoje zemljišče in nižje ležeča zemljišča in gozdovi, v katerih je izjemno poudarjena katerakoli druga ekološka funkcija. Zaščitno funkcijo pa imajo gozdovi, ki ščitijo prometnice, naselja in druge objekte (Pravilnik o načrtih za gospodarjenje z gozdovi in upravljanje z divjadjo, 2010).

Prva dokumentirana izločitev varovalnega gozda je bila leta 1770 v gozdu Kopovišče pri Tolminu (Kozorog in sod., 2012). Podatki o površini varovalnih gozdov v Sloveniji se razlikujejo glede na avtorje. Kozorog in sod. (2012) so pregledali podatke v predlogu za območne načrte za leta 2011–2020 in ugotovili, da je površina gozdov s 1. stopnjo poudarjenosti varovalne funkcije 191.552 ha, s 1. stopnjo poudarjenosti zaščitne funkcije pa 29.958 ha. Guček in sod. (2012) so s podatki podatkovnih zbirk Zavoda za gozdove Slovenije iz leta 2010 analizirali prekrivanje območij s poudarjeno varovalno in zaščitno funkcijo in pri tem ugotovili, da znaša površina gozdov s 1. stopnjo poudarjenosti varovalne funkcije 158.915 ha, z 2. stopnjo pa 269.739 ha. Površina gozdov s poudarjeno zaščitno funkcijo je znašala 29.209 ha. Gozdovi s poudarjeno varovalno in gozdovi s poudarjeno zaščitno funkcijo se izrazito prekrivajo. 39,8 % gozdov z zaščitno funkcijo se prekriva z gozdovi s poudarjeno varovalno funkcijo 1. stopnje, 31,6 % pa z gozdovi s poudarjeno varovalno funkcijo 2. stopnje. Glede na Letno poročilo o gozdovih Zavoda za gozdove Slovenije (2011) znaša površina varovalnih gozdov 99.248 ha.

Stokes (2006) je ugotavljala, katera drevesa je bolje uporabiti na območjih, ogroženih zaradi padajočega kamenja. Ugotovila je, da se pri jelki običajno prelomi deblo, smreka pade zaradi izruvanega koreninskega sistema, pri bukvi pa sta oba pojava približno enako pogosta. Bukev se je izkazala za dvakrat bolj odporno kot jelka in trikrat bolj kot smreka. Če pustimo drevesa ležati na pobočju, da ustavljajo kamenje, je pomembno, koliko časa lahko opravljajo to vlogo. V poizkusih (Stokes, 2002, cit. po Stokes 2006) je bilo ugotovljeno, da hlodi bukve in breze se razgradijo bistveno hitreje kot hlodi jelke ali smreke. Se pa debela živih listavcev hitreje pozdravijo po poškodbi kot debela iglavcev. Če je pobočje ogroženo tudi zaradi snežnih plazov, je potrebno upoštevati, da iglavci v tem

primeru ščitijo bolje kot listavci. Dorren in sod. (2005) so določili vrstni red drevesnih vrst glede na njihovo zmožnost razprševanja energije in posledično odpornost na padajoče kamenje: dob > bukev > gorski javor > jelka > macesen.

Na posvetovanju o varovalnih gozdovih so Diaci in sod. (2012) predlagali, da bi zaradi preglednosti, boljšega razumevanja in lažjega sofinanciranja veljalo razmisliti o dopolnitvi kategorizacije varovalnih gozdov. Ena možnost je sprememba statusa gozdov z izjemno poudarjeno zaščitno funkcijo v gozdove s posebnim namenom. Druga možnost pa je uporaba kategorij: 1) varovalni gozdovi brez ukrepanja, 2) varovalni gozdovi s prilagojenim ukrepanjem, 3) zaščitni gozdovi z rednim gospodarjenjem in 4) varovalni gozdovi, kjer je potrebno ukrepanje za zagotavljanje drugih ekoloških funkcij. Od ukrepov ločijo kurativne (odstranitev nevarnih dreves, odmrle drevnine ob vodotokih ipd.) in preprečevalne (nega za krepitev stabilnosti gozda in varovalnih funkcij). Potrebno bo izdelati priporočila za gospodarjenje s takimi gozdovi, dobra podlaga so lahko švicarske, francoske in italijanske smernice. Kadar je spravilo finančno preveliko ali tehnološko prezahtevno, priporočajo puščanje posekanih drevesa v gozdu, in sicer diagonalno na padnico terena, kjer poleg zaustavljanja padajočega kamenja in preprečevanja proženja snežnih plazov ob razkrajanju, nudijo tudi ugodne mikrorastiščne razmere za pomlajevanje sestojev. V nasprotju s tem pa dreves ni primerno puščati na območjih, kjer so prisotne visoke hudournne vode ali drobirski tokovi, za nadziranje pa predlagajo poostren nadzor (redno pregledovanje strug). Ob izvedbi poseka je zaradi boljšega varovanja pred snežnimi plazovi in padajočim kamenjem potrebno puščati visoke panje. Udeleženci posveta so izpostavili tudi problem financiranja del v varovalnih in zaščitnih gozdovih, kjer bo potrebno dopolniti podzakonske akte s točnejšo opredelitvijo nujnih oz. posebnih del v varovalnih gozdovih.

Brang in sod. (2006) so opisali, kako pred naravnimi nevarnostmi ščitijo živa debla, mrtva drevesa, korenine, krošnja in odpadlo listje in veje. Ločijo neposredno in posredno (ang. direct and indirect) zaščito. Prva velja za točno določeno lokacijo, npr. gozd nad vasjo, druga pa na nivoju pokrajine; posredno zaščito v določeni meri nudi vsak gozd. Prevedli bi ju lahko kot zaščita in varovalnost. Pomanjkanje skupne metodologije za določevanje varovalnih gozdov predstavlja problem. Varovalne gozdove je potrebno izločiti, da bi

lahko v njih ustrezno gospodarili. Obravnavajo tudi dejavnike, ki vplivajo negativno in pozitivno na odpornost (ang. resistance) in elastičnost (ang. resilience) gozda. Glede strukture varovalnega gozda ni nekega splošnega pravila, potrebno je upoštevati tiste nevarnosti, ki so prisotne v določenem primeru. Iz statičnega vidika naj bi gozd vseboval največjo možno število ovir (dreves) z najmanjšim učinkovitim premerom. Najprimernejši sistem gospodarjenja v varovalnem gozdu je tisti, ki pusti več dreves v sestoju. Avtorji predlagajo uporabo zastorne sečnje, robne sečnje, prebiralnega ali panjevskega sistema. Za neposredno zaščito gozda je Schönenberger (2001) predlagal malopovršinsko raznomenen mozaičen gozd z drevesi vseh starosti in premerov. Kot primer dobrega gospodarjenja z varovalnimi gozdovi so Brang in sod. (2006) predstavili postopek (projekt NaiS), ki so ga razvili Frehner in sod. (2005) in ga švicarske oblasti vključujejo v svoj način gospodarjenja z varovalnim gozdom. Njegova glavna prednost je standardiziranost odločanja, ki temelji na trenutno najboljši informaciji. Za stroškovno učinkovito gospodarjenje sledijo sedmim načelom:

- poseg mora ohraniti zadovoljiv varovalni učinek,
- posegi morajo biti izvedeni na tistem mestu, kjer bo pozitiven učinek najbolj verjeten,
- posegi morajo biti izvedeni ob pravem času, ko je razmerje med učinki in stroški najbolj ugodno,
- posegi morajo biti skladni z razvojem gozda in izkoristiti naravne procese,
- proces odločanja naj bo standardiziran in transparenten,
- posegi naj bodo učinkoviti in
- njihove koristi so večje od stroškov potrebnih za izvedbo.

Splošen pristop temelji na primerjavi trenutnega stanja sestoja in ciljnega stanja oziroma ciljnega profila sestoja, ki je odvisen od vrste nevarnosti in rastišča. Ciljni profil se nadalje razdeli na minimalni, ki služi kot spodnji prag za zagotavljanje zaščite, in idealni, ki predstavlja varovalni gozd, ki lahko opravlja svojo funkcijo dolgoročno. Ciljni profili so določeni za nevarnosti, kot so snežni in zemeljski plazovi, erozija, drobirski tokovi, padajoče kamenje in poplave. V procesu odločanja se odloča na nivoju sestojev. Sestoje, ki so si trenutno podobni in imajo tudi podoben ciljni profil, se združi v isti negovalni tip. Sledeče odločitve in ocene se izvajajo na podlagi indikatorskih ploskev (velikosti 1 ha), ki so reprezentativne za posamezne negovalne tipe. Trenutno stanje gozda na indikatorskih

ploskvah in njegovo ocenjeno stanje čez 10 let in 50 let se primerja s ciljnim profilom. Če stanje čez 50 let odstopa od ciljnega profila, moramo ukrepati. Med možnimi ukrepi je posek najpogostejši. Z njim lahko (delno) pokrijemo tudi stroške, a začasno zmanjšamo odpornost sestoja. Drugi ukrepi so posek in puščanje dreves na tleh, sajenje, nega mladja, odstrel divjadi, ustvarjanje ugodnih mikrolokacij za pomlajevanje itd. Monitoring je pomemben za izboljšanje gospodarjenja z gozdom. Ocenjevanje obsega štiri korake:

- z oceno opravljenih posegov ugotovimo, ali so bili opravljeni strokovno in na pravem mestu,
- z analizo učinkovitosti preverimo, če smo s posegi dosegli želeno spremembo v razvoju gozda,
- regionalno vrednotenje nam omogoči pregled učinkovitosti varovalnih gozdov in
- na podlagi analize ciljev preverimo, ali je potrebno spremeniti ciljne profile zaradi novih znanj.

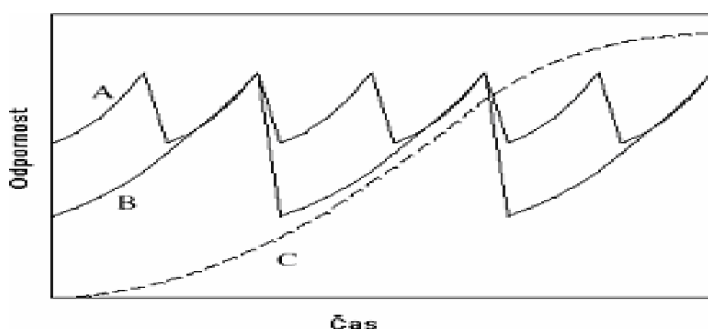
Brang (2001) je ugotavljal, da trenutni pristop k gospodarjenju z varovalnim gozdom vključuje princip minimalne nege. Kvantitativna ocena tveganj je le redkokdaj uporabljena, zanemarljena je dinamika razvoja sestoja. Ocena tveganj običajno vključuje le nekaj motenj (npr. nevihte, plaz). Potrebno je razviti splošen pristop, ki bi zagotavljal trajnostno zaščito gozda pred več motečimi dejavniki hkrati. Avtor je predlagal uporabo ekološkega koncepta odpornosti in elastičnosti (ang. resistance and elasticity). Odpornost je definiral kot zmožnost ostati nespremenjen, navkljub prisotnosti motenj, elastičnost pa kot hitrost povratka v stanje pred motnjo oz. dinamiko. Velika elastičnost je potrebna, ker je naša možnost, da bi okrepili odpornost omejena. Veliko elastičnost se lahko doseže s hitro rastjo in gostim pomladkom, kar pa lahko pomeni majhno odpornost proti vetru in drugim motnjam. Za vključevanje odpornosti in elastičnosti v gospodarjenje z varovalnimi gozdovi v Alpskem prostoru je predlagal pet korakov:

- identificiranje pomembnih motenj in počasnih sprememb,
- za vsako motnjo identificirati značilnosti gozda, ki povečujejo njegovo odpornost na posamezne motnje,
- za vsako značilnost iz prejšnjega koraka je potrebno določiti kazalce, s katerimi lahko spremljamo razvoj te značilnosti,

- za vsak kazalec se določi najmanjše in/ali največje vrednosti,
- vključevanje ukrepov za doseganje želenih vrednosti kazalcev v gospodarjenje in spremljanje rezultatov.

Avtor se zaveda, da ni odkril nič novega, le povezuje že znane vrednosti/značilnosti. Uporaba elastičnosti in odpornosti v gospodarjenju z varovalnimi gozdovi prispeva k razumevanju ekosistemskih komponent, struktur in procesov, ki jih prej nismo opazili.

O'Hara (2006) se je pri obravnavi pojmov odpornost in elastičnost bolj osredotočal na raznodobne sestoje v povezavi s hidrogeomorfološkimi pojavi (zemeljski plazovi, poplave, snežni plazovi, drobirski tokovi). Med gojitvenimi ukrepi in naravnimi motnjami obstaja povezava. Na razvoj dreves in sestojev vplivajo številne okoljske motnje, na katere imajo vrste različno tolerantnost. To pa izkoriščajo upravljavci gozdov, takrat ko želijo spremeniti vrstno sestavo ali strukturo sestoja. Čeprav se trudimo posnemati naravne procese, pa tega pri sečnji ne moremo doseči, ker je sečnja ciklična, motnje pa ne. Odpornost na nivoju drevesa je odvisna od trdnosti debla, koreninskega sistema in skorje. Na nivoju sestoja je odpornost zagotovljena s prisotnostjo in razporeditvijo dreves ali drugih ovir, elastičnost pa z možnostjo hitre nadomestitve dreves s pomlajevanjem. Zaradi dinamike sestojev se spreminja tudi njihova odpornost in elastičnost. Enodobni sestoji izpolnjujejo varovalno funkcijo le, kadar jih sestavljajo odrasla drevesa, a istočasno niso elastični zaradi odsotnosti pomlajevanja. Raznodobni sestoji nudijo stalno odpornost, a na nižjem nivoju, kot je maksimum odpornosti enodobnih sestojev (slika 5). Pri raznodobnih sestojih je tako vedno prisoten določen nivo varovalne funkcije. Če so uničena vsa drevesa, elastičnost raznodobnih sestojev ni večja kot v enodobnih sestojih.



Slika 5: Hipotetična odpornost dveh raznodobnih sestojev (A in B) in enodobnega sestoja (C) ob predpostavki, da varovalno funkcijo zagotavljajo odrasla drevesa. A ima bolj pogoste in kratke sečne dobe kot B. Najbolj primeren je sestoj A, a noben ne dosega maksimalne odpornosti sestoja C (prirejeno po: O'Hara, 2006: 51)

Frey in Thee (2002) sta po velikem neurju, ki je uničilo veliko gorskih varovalnih gozdov, proučevala razliko v varovalni zmožnosti med območij, kjer so padla drevesa odstranili in območji, kjer so jih pustili. Tam, kjer so jih pustili, niso zasledili proženja snežnih plazov, kjer so debela odstranili, pa so opazili njihovo znatno proženje. Debla lahko ohranijo to funkcijo tudi do 30 let. To znanje lahko prenesemo tudi na gospodarjenje z gozdom, ki je ogrožen s strani padajočega kamenja. Z ekonomskega vidika je takšna rešitev dobrodošla, saj je potreba po umetnih varovalnih objektih zmanjšana ali pa je celo ni.

Schönenberger (2001) je navedel, da so bile od sredine 19. stoletja dalje velike površine Alp pogozdene, da bi izboljšali varovalno funkcijo. Obnova na skrajnostnih in višje ležečih rastiščih pogosto (območja snežnih plazov in drobirski tokov) ni bila učinkovita. Avtor je povzel različne ugotovitve iz dolgotrajnih študij, ki predlagajo pogozditev v šopih. Tak način je primeren, ker upošteva spremenljivost mikrorastišč, smrtnost sadik je manjša, ustvari raznolike sestoje z različnimi drevesnimi vrstami in odrasli sestoji so bolj odporni na motnje.

Wehrli in sod. (2006) so se spraševali, kateri dejavniki so pomembni za dolgotrajno varovalno vlogo gozda. S pomočjo združitve dveh simulacijskih modelov, ForClim za ugotavljanje spremembe strukture gozda skozi čas in RockFor^{NET} so zaključili, da sta najpomembnejša dejavnika visoka začetna gostota sestoja in nizka stopnja mortalitete.

Berger in Rey (2004) sta predlagala, kar so prepoznali tudi številni gozdarji alpskih držav, da so potrebne skupne smernice za terensko opazovanje in načrtovanje posegov v gorskih varovalnih gozdovih. Te države bi morale vzpostaviti skupne smernice, ki bi služile kot orodje za odločanja o gospodarjenju z varovalnimi gozdovi, na načelu uporabe naravnih procesov za zagotavljanje stabilnosti gozda in poseganja v gozd le, kadar je to potrebno. Kot najbolj učinkoviti preventivi sta prepoznala kartiranje ogroženih območij in prepoved gradnje v ogroženih območjih. Pri izvedbi dodatnih preventivnih ukrepov poznamo pasivne ukrepe (se nanašajo na tehnične ukrepe), ki naj bi se izvajali na dnu pobočja, in aktivne, ki naj se izvajajo višje na pobočju. Splošni principi pri razdeljevanju območja v cone so:

- prepoznavanje in vrednotenje tveganj,

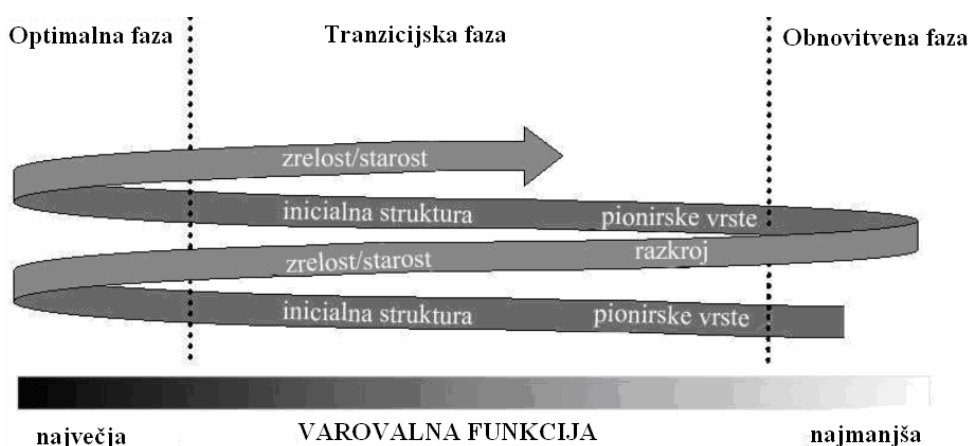
- omejitev in vrednotenje naravne površine,
- prepoznavanje in analiziranje povezav med tveganji in naravno površino,
- predstavitev rezultatov javnosti.

Povezava med raziskavami in dejanskim gospodarjenjem je pogosto pretrgana. Avtorja za izboljšanje situacije predlagata praktične smernice, ki so vsem razumljive in dopuščajo določeno svobodo gozdarjem, ustrezno zakonodajo na lokalni in državni ravni in finančno podporo za udejanjanje znanj iz raziskav v resničnem svetu.

Dorren in Berger (2006a) sta raziskovala možnost združevanja tradicionalnega načina ukrepanja v varovalnih gozdovih in moderne tehnologije. V ta namen sta ocenila prednosti in slabosti tradicionalnih načinov, ovrednotila nove tehnologije z vidika varovanja pred padajočim kamenjem in združila najboljše iz obeh. Skozi čas se je pokazalo, da praksa »pustimo gozd pri miru« ne deluje najbolje. V 19. stoletju se je potreba po lesu povečala in s tem tudi pritisk na gorske gozdove. Številni goloseki v gospodarskih gozdovih so povzročili večjo gostoto kopitarjev v negospodarjenih varovalnih gozdovih, večje objedanje in posledično manjše ali nikakršno pomlajevanje, kar je spremenilo gozd v enomeren, ki dolgoročno ne nudi zadovoljive zaščite. Od tradicionalnih metod se je izkazalo za koristno, da pustimo lokalnim prebivalcem, da sami ocenijo naravne nevarnosti, ki jim grozijo.

Dorren in Berger (2006b) sta predstavila uporabo panarhične teorije, ki nam pomaga bolje razumeti odnose med varovalnim gozdom, padajočim kamenjem in gozdarsko službo. V panarhični teoriji so sistemi medsebojno povezani v nepretrganih prilagajajočih ciklih. Na splošno prepoznamo znotraj cikla štiri stopnje: rast, višek, kolaps in reorganizacijo. Proces od prve do druge točke je počasen, od tretje do četrte pa hiter. Te stopnje so v varovalnem gozdu rast pionirskih vrst, dosežena stopnja klimaksnih vrst, staranje gozda in njegovo odmiranje ter njegova reorganizacija v nov cikel (pionirske vrste). Z natančnim proučevanjem sistemov lahko ugotovimo trenutek ali periodo znotraj cikla, v katerem je sistem najbolj dovzeten na posege. Varovalni gozd se neprestano razvija iz obnovitvene faze preko tranzicijske v optimalno fazo in spet nazaj (slika 6). V študiji panarhične simulacije so v gozdnem prostoru določili tri prilagajajoče cikle 1) cikel varovalnega gozda, 2) cikel padanja kamenja in 3) cikel gozdarske službe. Prvi je obsegal 250 let, drugi

1 leto in tretji 20 let. Simulacije so obsegale obdobja od 50 do 100 let, znotraj katerih se je morala gozdarska organizacija odločiti, katere metode (gospodarjenje z gozdom, tehnični ukrepi) zmanjševanja tveganja padajočega kamenja bo uporabila. Cilj simulacije je bil oceniti, kolikšna količina denarja je potrebna, da je tveganje za padanje kamenja čim manjše. Simulacijski model poleg tega izračuna še, kolikšno je dejansko tveganje za padanje kamenja v vsakem koraku, kar nam omogoča analizo učinkovitosti investicij.



Slika 6: Razvojne faze gorskega gozda v povezavi z varovalno funkcijo, ki jo nudijo (prirejeno po: Dorren in Berger, 2006b: 206)

Motta in Haudemand (2000) sta ugotavljala, da so se funkcije gorskega gozda sčasoma spreminjale. V primeru gorskega gozda v dolini Aosta sta prepoznala varovalno, turistično in rekreacijsko, lesno proizvodno, krajinsko in naravovarstveno funkcijo. V preteklosti je bil edini ukrep v varovalnih gozdovih prepoved sečnje, kar je že leta 1862 Landolt prepoznal za nezadostno in izpostavil potrebo po specifičnih ukrepih. Mayer (1982, cit. po Motta in Haudemand, 2000) je kot glavne probleme varovalnih gozdov smatral:

- pomanjkanje pomlajevanja,
- pomanjkanje srednje starih dreves,
- slaba stabilnost in
- povečevanje ranljivosti za naravne motnje.

Vsi gozdovi imajo splošno varovalno vlogo (Motta in Haudemand, 2000). Avtorja sta ločila posredno varovalno vlogo (pri nas varovalna funkcija) in direktno varovalno vlogo, ki jo imajo gozdovi, ki ščitijo ljudi, zgradbe in prometnice - pri nas bi ji rekli zaščitna funkcija. Iz gozdnogojitvenega vidika je stabilnost sestoj oz. gozda njegova zmožnost, da

izpolnjuje svoje funkcije zanesljivo in trajno. Pojem stabilnost sta Grimm in Wissel (1997) razdelila na trajnost, prožnost, vztrajnost, odpornost in elastičnost. Stabilnosti gozda ne smemo istovetiti s stabilnostjo sestoja, ker je propad sestoja sestavni del življenjskega cikla gozda (Motta in Haudemand, 2000). Na primeru gozda Ban de Ville sta ugotovila, da so glavni razlogi za nestabilnost neprimerna vrstna sestava, neprimerna vertikalna in horizontalna struktura, pomanjkanje pomlajevanja in prisotnost različnih škodljivcev. Kot ukrepe sta predlagala pospeševanje macesna in drevesne strukture v šopih, uvajanje večslojne strukture. Kjer je navzoč pomladek, se izvaja sečnja s pomočjo sončnega kompasa, kjer ni pomlajevanja pa se izvede sečnja v progah, ki ne smejo biti v smeri padnice terena.

Glavni cilj projekta ProAlp (Bauerhansl in sod., 2010) je bil raziskati možnosti za prispevek nacionalnih gozdnih inventur pri ocenjevanju varovalne funkcije gozdov v alpskem prostoru. V ta namen je bilo potrebno poenotiti definicije in različne koncepte nacionalnih inventur, da so končni podatki med seboj primerljivi. Priložili so slovar z definicijami, povezanimi z varovalnim gozdom. Razvili so nove kazalce, ki opisujejo varovalni učinek gozdov na različne motnje in metodologijo za določevanje varovalnih gozdov. Območja varovalnega gozda so določili s presekom karte gozda in karte potencialnih naravnih nevarnosti. Metodologija vključuje kartiranje nevarnosti, s poudarkom na snežnih plazovih in padajočem kamenju ter potencialni škodni vpliv na infrastrukturo. V kolikor uporabljamo samo inventurne podatke, so rezultati omejeni na manjše področje, za večja področja je bolje uporabiti tiste podatke, ki smo jih dobili z daljinskim pridobivanjem. Združevanje podatkov iz inventur in daljinsko pridobljenih podatkov se je izkazalo kot najbolj koristno pri določevanju varovalnega učinka gozdov na večjih območjih.

3 NAMEN NALOGE, CILJI IN HIPOTEZE

Namen diplomskega dela je na primeru prikazati uporabo dveh različnih računalniških programov za simulacijo procesa padajočega kamenja in kvantifikacijo varovalnega učinka gozda. Prikazali smo tudi vpliv različnega gospodarjenja z gozdom (prebiralno in velikopovršinsko raznomerno) na opravljanje varovalne funkcije gozda in posledice različnih smeri tras žičnega spravila na opravljanje varovalne funkcije gozda.

Cilji naloge so:

- z računalniškima programoma Rockfall^{NET}, RockyFor3D in metodo senčnega kota določiti območja ogroženosti zaradi padajočega kamenja,
- primerjati različne metode ugotavljanja vpliva varovalne funkcije gozda na padajoče kamenje,
- ugotoviti, kateri način gospodarjenja z gozdom je primernejši, da se ogroženost ceste pod proučevanim gozdom bistveno ne poveča,
- ugotoviti, če in kako vplivajo različne oblike tras žičnega spravila na varovalni učinek gozda,
- ugotoviti vpliv prebiralnega gospodarjenja na varovalni učinek gozda pred padajočim kamenjem.

Opredeljene delovne hipoteze so:

- poševne trase žičnega spravila manj ogrožajo odsek ceste, ki poteka od vstopa v predor Ljubelj do prve serpentine kot trase, ki potekajo po padnici terena,
- za ohranjanje varovalnega učinka gozda v odraslih sestojih so trase žičnega spravila lesa, ki obsegajo mozaične vrzeli, primernejše kot trase s svetlitvenimi redčenji,
- prebiralni gozd zaradi svoje raznomerne zgradbe nudi boljši varovalni učinek od enomerne gozda.

4 PREDSTAVITEV OBMOČJA RAZISKAVE

4.1 PROSTORSKA UMEŠČENOST

Objekt se nahaja v Karavankah, v grobem vzhodno od Jesenic in severno od Trziča (slika 7). Bolj podrobno pa nad glavno ljubeljsko cesto, od zadnje serpentine ceste in do vstopa v predor Ljubelj. Glede na umestitev ZGS spada proučevano območje v GGO Kranj, GGE Trzič, gozdni revir Podljubelj in vključuje sledeče oddelke oz. odseke: 213A, 214 ter manj kot polovico 213B, 215 in zelo majhen del odseka 211A nad glavno cesto.



Slika 7: Lokacija proučevanega območja (v rdečem kvadratu) (vir: Geopedia)

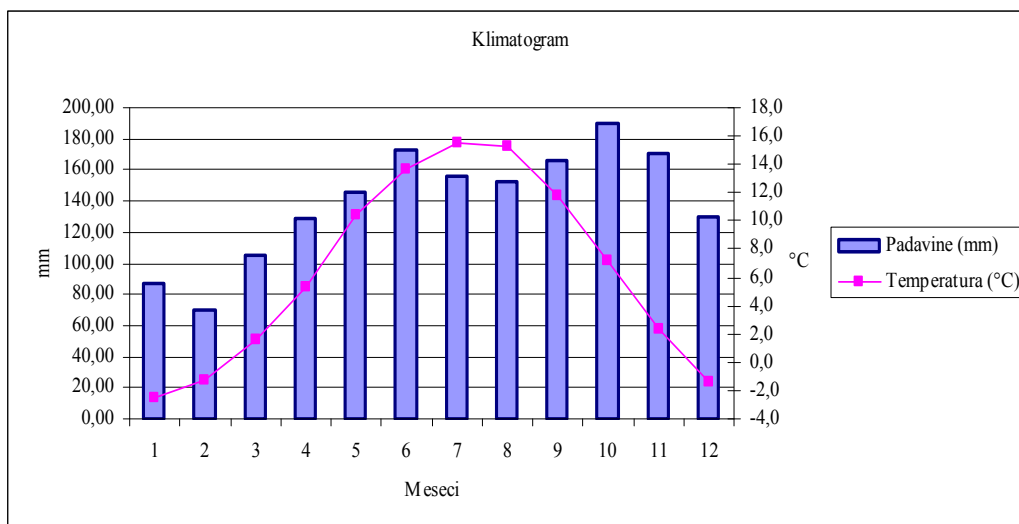
4.2 ZNAČILNOSTI OBJEKTA RAZISKAVE

Nadmorska višina proučevanega objekta znaša od 1000 m do 1470 m. Teren je razgiban, prisotni so jarki, hudourniki in skalni izvori. Opazili smo strme, ponekod prepadne naklone terena. Vzorčne ploskve imajo južne in jugovzhodne lege. Za matično podlago smo določili apnenec in dolomit, pri čemer je apnenec pogosto plastovit. V oddelkih

prevladujejo plitva do srednje globoka rjava tla, rendzine in plitva do srednje globoka rjava karbonatna tla.

Na ploskvah smo popisali 16 različnih drevesnih vrst; prevladuje bukev, sledi ji smreka. Prisotnih je veliko pionirskih vrst, kar nakazuje skrajnostne rastiščne razmere. Prevladuje gozdna združba *Anemone trifoliae-Fagetum* (bukovje s trlistno vetrnico).

Prevladuje zmerno alpsko podnebje (Gozdnogospodarski načrt ..., 2005). Glede na podatke (Arhiv, 2013) znaša povprečna letna temperatura za obdobje od 1977 do 2012 6,5°C, povprečna temperatura najhladnejšega meseca januarja znaša -2,5°C, povprečna temperatura najtoplejšega meseca julija pa znaša 15,5°C. Povprečna letna količina padavin znaša 1675 mm, opazna sta dva manjša viška padavin, v juniju in oktobru. Največ padavin pade od maja do novembra, zimski čas je razmeroma sušen. Porazdelitev povprečnih padavin najbližje padavinske meteorološke postaje Podljubelj (775 metrov nadmorske višine) in temperatur najbližje primerljive meteorološke postaje, ki meri temperaturo (Planina pod Golico, 970 metrov nadmorske višine) prikazuje klimatogram na sliki 8.



Slika 8: Kombinirani klimatogram s padavinami merilne postaje Podljubelj in temperaturami merilne postaje Planina pod Golico za obdobje 1977-2012 (prirejeno po: Arhiv, 2013)

Vegetacijska perioda traja od 110 do 160 dni. Lokalno so prisotne razlike v temperaturi zaradi temperaturne inverzije, ki povzroča zgodnje in pozne zmrzali. Območje je okoli 77 dni na leto pokrito s snežno odejo (Gozdnogospodarski načrt ..., 2005).



Slika 9: Prikaz območja raziskave, oddelkov, odsekov in raziskovalnih ploskev (prirejeno po: Pregledovalnik, 2013)

Oddelka 211A in 213A spadata v gospodarski razred "Gozdovi s posebnim namenom", oddelki 213B, 214 in 215 pa v gospodarski razred "Varovalni gozdovi". Funkcijo varovanja kulturne dediščine opravljajo oddelki 211A, 214 in 215. Kulturno dediščino na bližnjem območju predstavljajo cerkev svete Ane, koncentracijsko taborišče Ljubelj in stara ljubeljska cesta. Z vidika obrambne funkcije je pomemben ljubeljski prometni koridor in pas ob državni meji. Vsi gozdovi so v koncesijskem upravljanju, razen del gozdov v oddelku 211A. (Gozdnogospodarski načrt ..., 2005). Vse funkcije, ki so prisotne v posameznih oddelkih, glede na pregledovalnik gozdnogospodarskih in gozdnogojitvenih načrtov, so prikazane v preglednici 3 (Pregledovalnik, 2013).

Preglednica 3: Prikaz funkcij gozdov v obravnavanih oddelkih (prirejeno po: Pregledovalnik, 2013)

VRSTE FUNKCIJ	ODSEKI				
	211a	213a	213b	214	215
vse ekološke funkcije	da	da	da	da	da
socialne funkcije					
zaščitna	ne	deloma	da	da	deloma
f. varovanja kult. dediščine	da	da	deloma	da	da
estetska	da	da	da	da	da
higiensko zdravstvena	da	da	da	da	da
turistična	ne	ne	ne	da	ne
proizvodne funkcije					
lesnoproizvodna funkcija	da	da	ne	ne	ne

Obremenjenost ceste med mejnim prehodom Ljubelj in Tržičem prikazujejo podatki štetja zadnjih 11 let. Povprečni letni dnevni promet vseh motornih vozil za 12 let znaša 1987 vozil (prirejeno po: Štetje, 2000–2011).



Slika 10: Podatki o povprečnem letnem dnevnem prometu za odsek ceste od mejnega prehoda Ljubelj do Tržiča

4.3 ANALIZA PRETEKLEGA GOSPODARJENJA

Do konca 19. stoletja se z gozdovi v današnji gozdnogospodarski enoti Tržič ni načrtno gospodarilo, ampak se jih je le izkoriščalo. Država je uvedla strožji nadzor na začetku prejšnjega stoletja. V tem času so tudi zavestno povečevali delež smreke na račun listavcev. Njihov les so v višjih legah uporabljali tudi za oglarjenje. Po drugi svetovni vojni je bilo izvedenih nekaj prekomernih sečenj, v 50. letih pa je bilo uvedeno celovito in

Preglednica 5: Realiziran posek (v m³) v letih 2005-2012 (Gozdnogospodarski načrt ..., 2005)

posek v odseku		2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	možen posek	realiziran posek %
211A	IGL			179	32	8		1	3			230	97
	LIST			59	28							215	40
213A	IGL	37										477	8
	LIST	50										289	17
213B	IGL					26		164				203	94
	LIST					28		152				253	71
214	IGL	55					91	30				292	60
	LIST	88			6		26	166				253	113
215	IGL						155	142	6			382	79
	LIST						149	156	204			305	167

5 METODE DELA

Delo smo opravili v naslednjem vrstnem redu:

1. popis lastnosti terena,
2. zakoličba raziskovalnih ploskev in popis značilnosti gozda na ploskvah,
3. izrisovanje sestojev,
4. simuliranje padajočega kamenja s programom Rockfall^{NET},
5. simuliranje padajočega kamenja s programom RockyFor3D,
6. določevanje območja nevarnosti zaradi padajočega kamenja z metodo senčnega kota,
7. analiza podatkov in interpretacija rezultatov.

5.1 METODE TERENSKEGA DELA

5.1.1 Ocena lastnosti terena

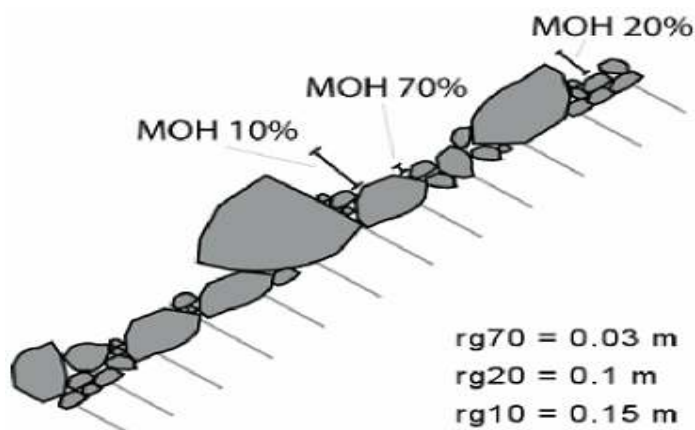
Lastnosti terena smo opisovali s pomočjo obrazca (priloga B), ki so ga oblikovali avtorji programa RockyFor3D. Posebej smo izločili homogene enote oz. izvore padajočega kamenja; ostalo pobočje smo prav tako razdelili v večje homogene enote.

Izvorom padajočega kamenja smo določevali:

- gostoto kamnine, ki mo jo določili preko vrste kamnine; apnenec ima 2800 kg/m^3 , dolomit pa 2700 kg/m^3 ,
- dominantne oblike padajočega kamenja, ki so lahko kvadratne, elipsoidne, kroglaste ali diskaste oblike. V našem primeru je bila oblika vedno kvadratna,
- dimenzije sproženih kamnov: višina, širina in globina (m).

Naslednje značilnosti smo določevali izvorom padajočega kamenja kot tudi ostalemu pobočju:

- hrapavost terena, ki je odvisna od višine ovire padajočemu kamenju, gledano po padnici terena navzdol. Višina ovire je v literaturi znana kot MOH (Dorren in sod., 2006). Hrapavost ponazorimo z RG70, RG20 in RG10 (slika 11), ki so verjetnostni razredi, ki označujejo povprečno višino ovire, na katero naleti padajoče kamenje v 70 %, 20 % in 10 % primerov med kotaljenjem po pobočju (Dorren, 2012),



Slika 11: Ponazoritev povprečnih višin ovir (MOH) na 70 %, 20 % in 10 % površine znotraj homogenega območja na pobočju (Dorren, 2012)

- pri tipu tal smo lahko izbrali reko, močvirje oz. tla, v katero se kamen popolnoma vdre, fina tla globine več kot 100 cm, fina tla globine manj kot 100 cm s primesmi peska in gramoza, grušč premera manj kot 10 cm oz. srednje kompaktna tla z manjšimi kameninskimi delci, živo skalo ter asfaltno cesto.

5.1.2 Popis ploskev

Popis smo opravili na 61 raziskovalnih ploskvah, velikosti 4 are, s polmerom 11,28 metra. Ploskve smo zakoličili na sistematični mreži 75 m x 75 m.

Za določitev izhodiščne točke smo se postavili k vratom, ki so na začetku priključka gozdne ceste z glavno cesto in izmerili razdaljo 25 metrov v smeri severa. Če je imela

ploskev manj kot 50 % površine poraščene z gozdom oziroma je bila nedostopna, smo jo predstavili za 20 m proti vzhodu. V center ploskve smo zapičili železno palico in okoli nje ovili rdeče-bel plastični trak, na katerega smo napisali zaporedno številko ploskve. S trakom in zaporedno številko ploskve smo označili še središču najbližje drevo.

Na ploskvah smo ugotavljali:

- premer dreves v prsni višini (cm); v popisu smo upoštevali vsa živa drevesa s prsnim premerom več kot 1,27 cm,
- višino dreves,
- drevesno vrsto,
- poškodbe zaradi padajočega kamenja in število kamenja, ki ga je drevo ustavilo,
- azimut iz središča ploskve do posameznega drevesa in njihovo razdaljo (m) od središča ploskve,
- GPS koordinate središča ploskve in nadmorsko višino ploskve,
- naklon (°) in ekspozicija ploskve.

Pri delu smo uporabljali II-meter, kompas, busolo znamke Suunto, GPS napravo GPSMAP 625 in napravo Vertex IV in VertexLaser VL402 za merjenje razdalj med središčnimi točkami ploskev, razdalj dreves od središča ploskve, višino dreves in naklon terena.

5.1.3 Opis sestojev

Ko smo določili lastnosti terena in popisali ploskve, smo prehodili teren še enkrat in popisali različne gozdne sestoje. Vsakemu izrisanemu sestoku smo ocenili:

- delež dreves glede na drevesne vrste v zgornjem, srednjem in spodnjem višinskem sloju, ki smo jih določili po tretjinah glede na zgornjo drevesno višino,
- delež dreves po številu glede na razširjene debelinske razrede (10–30 cm, 30–50 cm in nad 50 cm),
- povprečna stabilnost dreves v zgornjem, srednjem in spodnjem višinskem sloju posameznega sestoka z ocenami 1-dobra, 2-zadovoljiva in 3-slaba stabilnost,

- dolžino krošenj dreves glede na dolžino celotnega debla,
- ali je prisotno pomlajevanje in na kakšni površini,
- sklep krošenj smo določili tako, da smo ocenili, koliko sončne svetlobe lahko prodre skozenj,
- povprečna starost dreves v sestoju
- in prisotnost poškodb.

5.2 METODE ANALIZE PODATKOV

5.2.1 Analiza podatkov v Excelu

Zbrane podatke iz ploskev smo obdelali v programu Microsoft Excel 2003. Za vsako ploskev posebej smo izračunali število dreves preračunano na hektar, povprečen prsni premer, standardni odklon prsnega premera, deleže posameznih drevesnih vrst in delež iglavcev.

Določili smo, katere raziskovalne ploskve so znotraj določenega sestoja in za vsak sestoj še enkrat izračunali posamezne parametre, ki so povprečja posameznih parametrov na ploskvah.

5.2.2 Izvedba simulacij v programu RockFor^{NET}

To je program za hitro ocenjevanje in je prosto dostopen na internetu (www.rockfor.net). Z njim smo izračunali PRH (ang. probable residual hazard - verjetnost tveganja pred padajočim kamenjem), ki predstavlja delež skal, ki lahko preidejo skozi sestoj. Kot dodaten rezultat nam je program tudi predlagal, kakšna naj bo gostota dreves in kakšen naj bo povprečen prsni premer v ciljnem sestoju. Ciljni sestoj je tisti, ki ima vrednost PRH manjšo kot 1 %.

Ker so bili določeni izvori večji in lahko padajoče kamenje gravitira v več smeri, smo v nekaterih izvori uporabili več začetnih točk padajočega kamenja. Skupno smo jih tako uporabili 58. Če je bila vrednost PRH na zgornji (gozdni) cesti velika, smo naredili še en

izračun, kjer smo pot kamenja podaljšali do spodnje ceste. Za velikost kamenja smo uporabili širino, višino in dolžino največjega opaženega kamna na terenu, kar znaša 0,5 m x 0,6 m x 0,6 m.

Potrebni podatki za vnos v program so:

- premer skale v treh smereh (dolžina, širina, višina),
- gostota skale, ki je odvisna od vrste kamnine (dolomit ali apnenec v našem primeru),
- oblika skale, ki je bila v našem primeru kvadratna,
- povprečni naklon pobočja, ki smo ga dobili iz razlike v nadmorskih višinah izvora kamenja in predvidene točke ustavitve na cesti. Kot pot kamenja smo vzeli padnico terena,
- dolžini pogozenega in negozdnega pobočja na poti kamenja, ki smo jih izračunali z uporabo Pitagorovega izreka,
- višina skalne stene,
- povprečna gostota sestoja, ki smo jo v primeru, da kamen potuje čez več sestojev, ponderirali z dolžino pobočij posameznih sestojev,
- povprečni prsni premer, ki smo ga v primeru, da kamen potuje čez več sestojev, ponderirali z dolžino pobočij posameznih sestojev, namesto prsnega premera lahko uporabimo tudi temeljnico, a smo se zaradi enostavnosti odločili za prsni premer,
- mešanost drevesnih vrst, ki smo jo tudi ponderirali z dolžino pobočij posameznih sestojev.

5.2.3 Program Rockyfor3D V5.1

Program glavnega avtorja dr. Luuka Dorrena je model, ki izračuna pot ene, individualno padajoče skale v treh dimenzijah. Program združuje deterministične algoritme in stohastične pristope, kar ustvari verjetnostni model, ki temelji na simulaciji trajektorij padajočega kamenja. Lahko ga uporabljamo v regionalnem, lokalnem merilu ali pa le za eno pobočje (Dorren, 2012).

Program smo uporabili za scenarije z gozdom, brez gozda, s prebiralnim gozdom, z dejanskimi trasami žičnega spravila, s teoretičnimi trasami po padnici terena in s teoretičnimi poševnimi vrzelastimi trasami.

5.2.3.1 Priprava podatkov in datotek za vnos v program

Pred izvedbo simulacij v programu Rockyfor3D je bilo potrebno izvesti še nekaj korakov. V programu Quantum GIS 1.7.3 smo ustvarili sloj, v katerem smo izvedli digitalizacijo sestojev, pri čimer smo si pomagali z izrisanimi sestoji na terenu, digitalnimi ortofoto posnetki ter infrardečimi posnetki. Opredeljenim poligonom - sestojem smo v sestojno podatkovno tabelo vnesli lastnosti posameznih sestojev, ki smo jih dobili z obdelavo podatkov v Excelu (povprečni premer dreves v sestoji, gostota dreves, standardni odklon premera dreves v posameznem sestoji, delež iglavcev in zaporedna številka sestoja). Vsi sloji so shranjeni v vektorski obliki (.shp).

Ustvarili smo nov vektorski sloj, v katerem smo digitalizirali teren (izvore in ostalo pobočje), pri tem smo si pomagali s poligoni in opisi, ki smo jih napravili na terenu. V podatkovno tabelo smo vnesli lastnosti posameznih poligonov (gostota kamnine, oblika kamnine, dimenzija kamnine, tip tal, hrapavost terena izražena z verjetnostnimi razredi RG70, RG30 in RG20).

Ustvarili smo še en sloj, ki je v osnovi enak sloju s sestoji, le da ima dodane trase za žično spravilo. Trase smo digitalizirali z ortofoto posnetkov ali pa s poligonom, ki smo ga dobili s hojo z GPS napravo po robu trase. Zanimalo nas je, če se stopnja ogroženosti ceste pri različnih oblikah tras spreminja, zato smo oblikovali sloja s teoretičnimi trasami, ki potekajo po padnici terena in s poševnimi trasami s sečnjo v vrzelih, ki si ne sledijo po padnici terena – te trase ustvarjajo mozaično strukturo gozda.

Zanimal nas je tudi vpliv prebiralnega gospodarjenja na ogroženost pred padajočim kamenjem, zato smo ustvarili teoretični sloj s prebiralno strukturo gozda. Ker v prebiralnem gozdu ne poznamo različnih sestojev, je celotno proučevano območje en sam poligon. Zaradi boljše ponazoritve horizontalne strukture prebiralnega gozda smo uporabili

točke. Vsaka točka predstavlja drevo in vsebuje podatke o njegovem prsnem premeru ter X in Y koordinatah v prostoru. Število dreves po debelinskih stopnjah se zmanjšuje glede na padajoče geometrijsko zaporedje. V zadnjo debelinsko stopnjo (16. debelinska stopnja) smo dali 1 drevo, število dreves v 15. debelinski stopnji smo izračunali tako, da smo število dreves v zadnji debelinski stopnji pomnožili s parametrom q, ki smo mu določili vrednost 1,5. Število dreves v 14. debelinski stopnji smo izračunali tako, da smo pomnožili število dreves v višji debelinski stopnji s parametrom q itd.

Koordinate dreves in njihove prsne premere smo prenesli v datoteko z imenom treefile.txt, ustvarili smo še rastrsko datoteko imenovano conif_perc.asc, ki vsebuje podatek o deležu iglavcev v gozdu. S tem smo dobili vse potrebne sloje, ki smo jih morali spremeniti v takšno obliko, da smo lahko izpeljali simulacije v programu Rockyfor3D. Uporabili smo program SAGA GIS (<http://www.saga-gis.org>), ki je tudi prosto dostopen na internetu.

S tem programom smo spremenili vektorske datoteke (.shp), ki smo jih ustvarili v Quantum GIS, v toliko rastrskih (.asc), kolikor je bilo parametrov v vektorski datoteki. Kot rezultat smo dobili za sloj z lastnostmi terena 9 datotek, pri sloju s sestoji in sestoji s trasami žičnega spravila pa 4, po eno za vsak parameter, ki smo ga upoštevali v podatkovnih tabelah. Velikost rastra je 12,5 m x 12,5 m.

Datoteke, ki smo jih dobili s spreminjanjem sloja lastnosti terena so morale nujno biti poimenovane rockdensity, blshape, d1, d2, d3, rg70, rg20, rg10 in soiltype, drugače jih program Rockyfor3D ne bi prepoznal. Datoteke, ki smo jih dobili s spreminjanjem sloja sestoji in sestoji s trasami žičnega spravila, morajo biti prav tako poimenovane nrtrees, dbhmean, dbhstd in conif_percent.

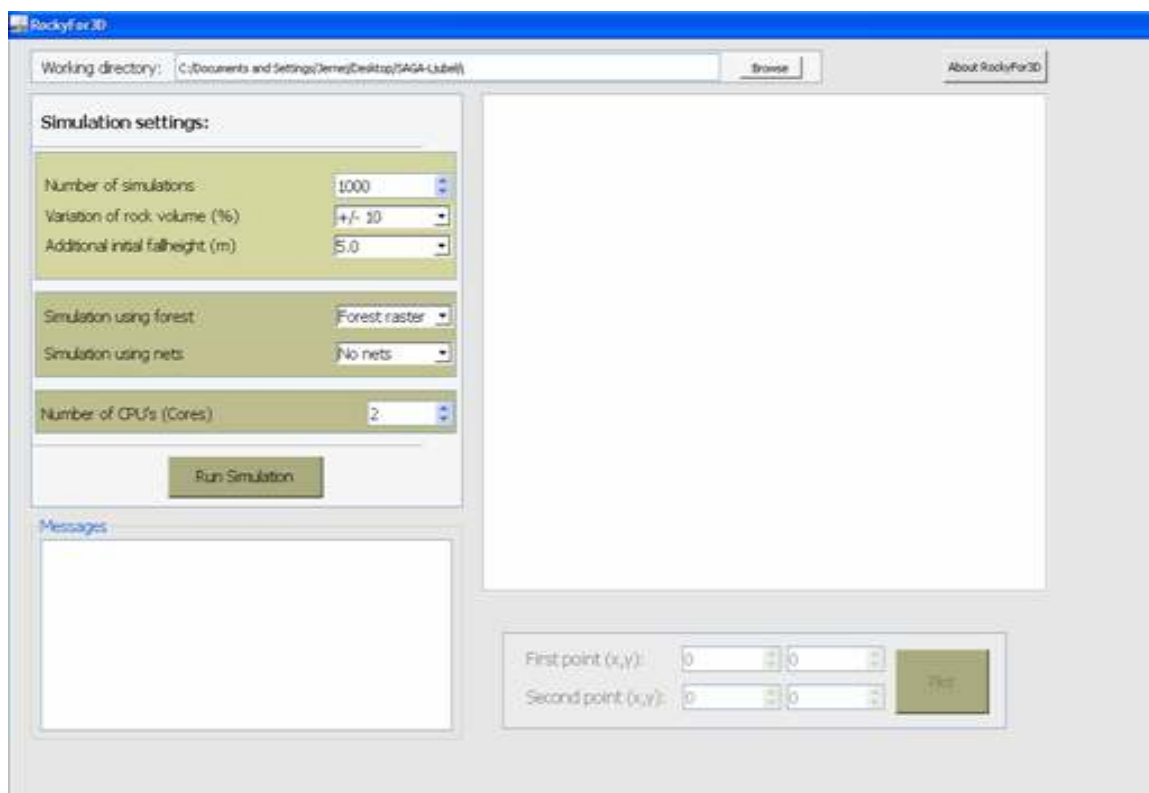
Simulacijo v programu Rockyfor3D smo izvedli tako, da smo prenesli vse rastrske datoteke v točno določeno mapo in jim dodali še datoteko dem.asc, ki je digitalni model reliefa proučevanega območja. Kvadrata na računalniškem ekranu – piksel odgovarja površini 12,5 m x 12,5 m na terenu. Po Dorren in sod. (2004) je DEM (ang. digital elevation model – digitalni model reliefa) najpomembnejši nabor podatkov, ker povzame topografijo, ki ima največji vpliv na pogostost, smer in hitrost padajočega kamenja.

Simulacijo v prebiralnem gozdu smo izvedli tako, da smo premestili rastrsko datoteko conif_percent.asc, rastrske datoteke o lastnostih terena in treefile.txt v točno določeno mapo ter jim dodali še datoteko dem.asc.

5.2.3.2 Izvedba simulacij v programu Rockyfor 3D

Ko zaženemo program (slika 12), najprej izberemo mapo, v kateri so shranjene vse datoteke, ki jih potrebujemo za izvedbo simulacije. Potrebni vhodni podatki za izvedbo simulacij so (Dorren, 2012):

- število simulacij. Pomeni število individualnih poti skal, ki jih program simulira iz vsake izvirne celice. Večje kot je število simulacij, bolj natančni so rezultati (»Number of simulations«),
- spremenljivost volumna skal. Pomeni procent, s katerim bo program naključno spreminjal volumen skale, znotraj vsake simulacije poti skale (»Variation of rock volumne %«),
- dodatna začetna višina padca skale. Z njo ponazorimo povprečno višino skalne stene (»Additional initial fallheight«),
- določimo, ali želimo izvesti simulacijo brez ali z gozdom in kakšne vhodne podatke želimo uporabiti, v primeru simulacije z gozdom tj. rastrski ali .txt (»Simulation using forest«),
- določimo, ali želimo uporabiti varovalne mreže v simulaciji (»Simulation using nets«),
- če imamo več jedrni procesor, lahko določimo število jeder in s tem tudi hitrost izvajanja simulacij (»Number of CPU's«).



Slika 12: Program RockyFor3D z vnesenimi parametri

Program uporablja še dva fiksna začetna parametra, ki ju ne moremo spreminjati in sicer začetna horizontalna in vertikalna hitrost skale. Vrednost obeh znaša 0,5 m/s. Začetno vertikalno hitrost lahko posredno povečamo z izbiro večje začetne višine padca skale. Kot rezultat simulacije dobimo 12 datotek, v primeru simulacije z gozdom pa 14 novih rastrskih datotek.

Kratka razlaga omenjenih datotek po Dorren (2012):

E_mean.asc, je povprečna kinetična energija (prevodna + vrtilna) na rastrsko celico (kJ). Ta parameter je s strani avtorjev najbolj priporočljiv pri ustvarjanju karte ogroženosti.

E_95.asc je 95 % intervala zaupanja povprečne kinetične energije rastrski celici (kJ). Glede na izkušnje je vrednost dejanske energije, ki se sprosti ob padcu kamenja, med E_mean in E_95.

Ph_mean.asc je povprečje višin odbojev kamnov, ki so potovali preko določene rastrske celice (m).

Ph_95.asc je 95 % intervala zaupanja od vseh višin odbojev skal, ki so prečile določeno rastrsko celico (m). Lahko jo razumemo kot največjo višino odbojev skal, ki so prečkale določeno rastrsko celico.

Nr_passages.asc je število skal, ki so prečkale določeno rastrsko celico.

Nr_sourcecells.asc nam pove, iz koliko različnih izvornih celic izvira kamenje, ki je prispelo v določeno rastrsko celico.

Reach_probability.asc nam pove, ali je verjetnost, da kamen dospe v dano celico večja ali manjša (večje oziroma manjše vrednosti na zemljevidu). Ta rastrska datoteka ne kaže dometa kamenja, ampak področja njegovega zgoščevanja

Nr_deposited.asc je število ustavljenih skal v vsaki rastrski celici.

Rvol_deposit.asc je največji volumen skale, ki se je ustavila v določeni rastrski celici (m³).

EL_angles.asc je rastr z najmanjšim kotom energijske črte na celico (°).

Traj_time.asc je najmanjši potreben čas, ki jo skala potrebuje, da iz izvornega območja doseže določeno celico (sec).

V_max.asc je največja hitrost skale v rastrski celici (m/s).

Če izvajamo simulacijo z gozdom, pa program ustvari še:

Tree_impact_heights.asc je najvišje mesto udarca skale v drevo v rastrski celici (m).

Nr_tree_impacts.asc je število udarcev v drevo rastrski celici.

Za izdelavo karte ogroženosti smo uporabili E_mean.asc. V programu ArcMap 9.3 smo interpolirali linijo po cesti in nato z orodjem »Profile graph« ustvarili graf, ki prikazuje vrednosti rastra E_mean.asc po tej liniji oz. cesti. Uporaben raster je tudi Nr_deposited, ki nam pove, koliko kamenja se ustavi v določeni celici. V atributivni tabeli smo ogroženi cesti dali takšne vrednosti za RG70, RG20 in RG10, da se tam ustavi vse kamenje, ki pride po terenu navzdol.

5.2.4 Metoda senčnega kota

Za izdelavo karte ogroženosti glede na metodo senčnega kota smo uporabili funkcijo Viewshed v programu ArcMap. Potrebovali smo digitalni model reliefa ter raster s točkami, kjer se nahajajo izvori. Ker smo izvornim točkam dodali še 10 metrov višine, kar je povprečna višina izvora kamenja nad površjem, smo kot rezultat dobili maksimalni senčni kot. Vertikalni (senčni) kot smo nastavili na 32°, horizontalni (kot odstopanja levo in desno od vertikalnega kota) pa na 15°. Dobili smo zemljevid največjega možnega dosega kamenja.

6 REZULTATI

6.1 SPLOŠNA PODOBA GOZDA

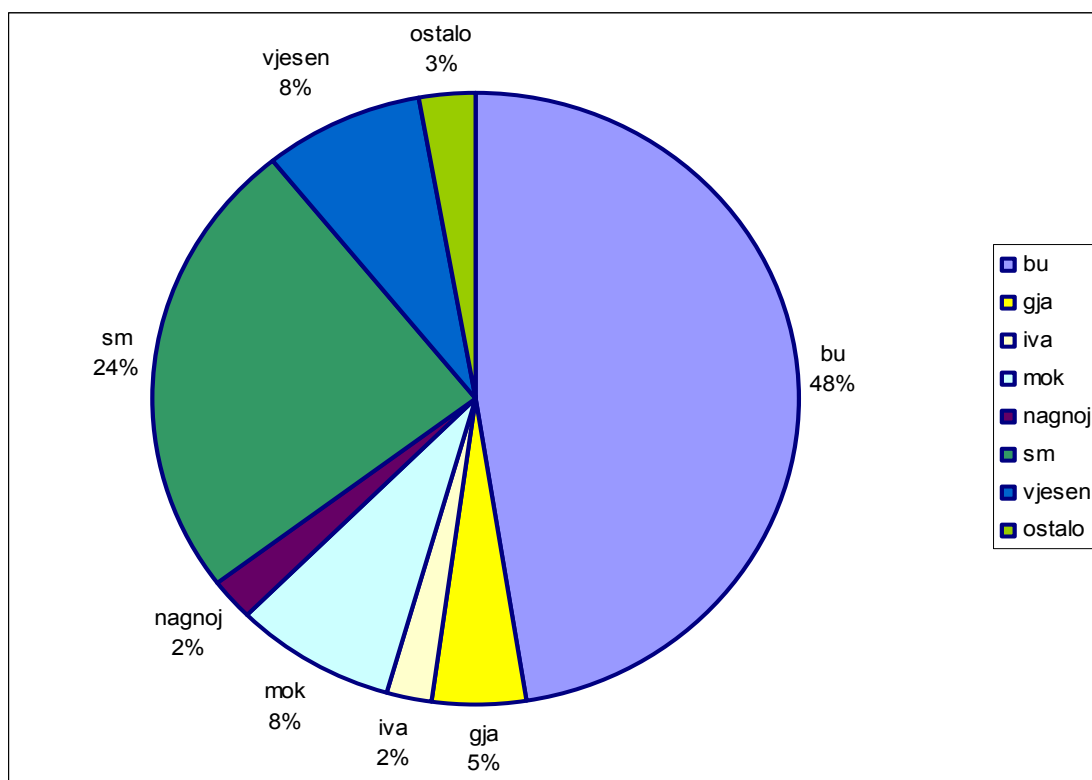
Na ploskvah smo popisali 3204 dreves s prsnim premerom večjim od 1,27 cm in 15 različnih drevesnih vrst. Po številu prevladuje bukev z 48 %, sledi smreka s polovico manjšim številom ter veliki jesen, mokovec in gorski javor (slika 13). Posamezne ostale drevesne vrste (breza, črni bor, češnja, gorski brest, jelka, jerebika, macesen, rdeči bor, siva jelša, nagnoj) ne presegajo 1 % v skupnem številu dreves.

V lesni zalogi (slika 14) se delež bukve poveča, delež smreke pa le rahlo zmanjša. Delež bukve se v primerjavi s sliko 13 poveča na račun gorskega javorja, velikega jesena in mokovca. Lesno zalogo smo izračunali preko Čoklovih vmesnih tarif. Za bukev smo določili 7. tarifni razred, za smreko in ostale iglavce pa 5. tarifni razred. Oblikovali smo poseben stratum, v katerega smo združili ostale listavce (mokovec, jelša, veliki jesen, gorski javor ...), ki smo jim določili 3. tarifni razred. Povprečna lesna zaloga na ploskvi znaša 610 m³/ha, oziroma 460 m³/ha listavcev in 150 m³/ha iglavcev. Uravnoteženo lesno zalogo v prebiralnem gozdu smo ugotavljali z enačbama (Diaci in Firm, 2011; Schütz, 2001):

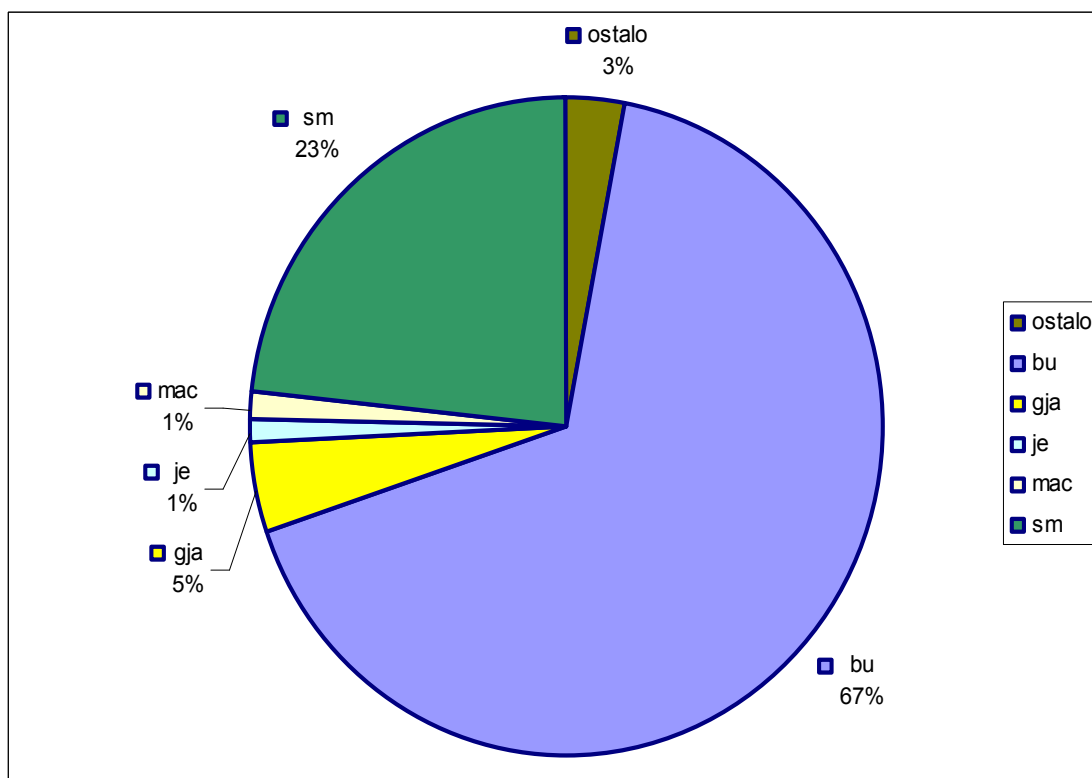
lesna zaloga = zgornja višina x 9 (listavci)

lesna zaloga = zgornja višina x 10 (iglavci)(2)

Vrednosti znašajo 277,7 m³/ha za iglavce in 249,9 m³/ha za listavce. Po ustreznem ponderiranju glede na delež listavcev in iglavcev znaša ocena uravnotežene lesne zaloge prebiralnega gozda 256,5 m³/ha.

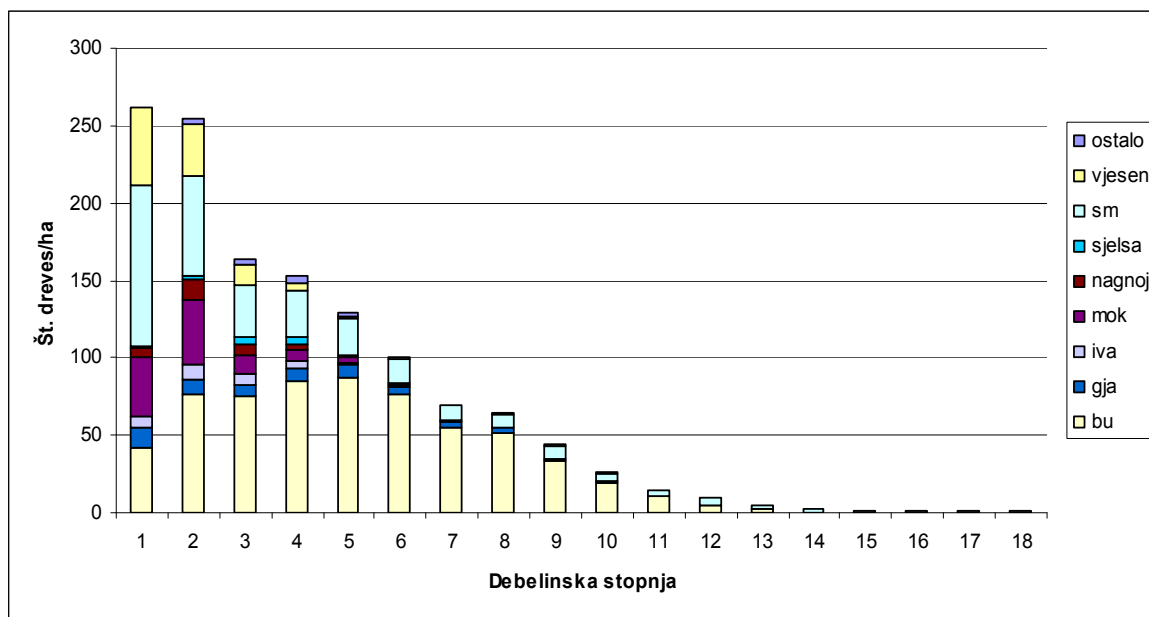


Slika 13: Porazdelitev števila dreves po drevesnih vrstah



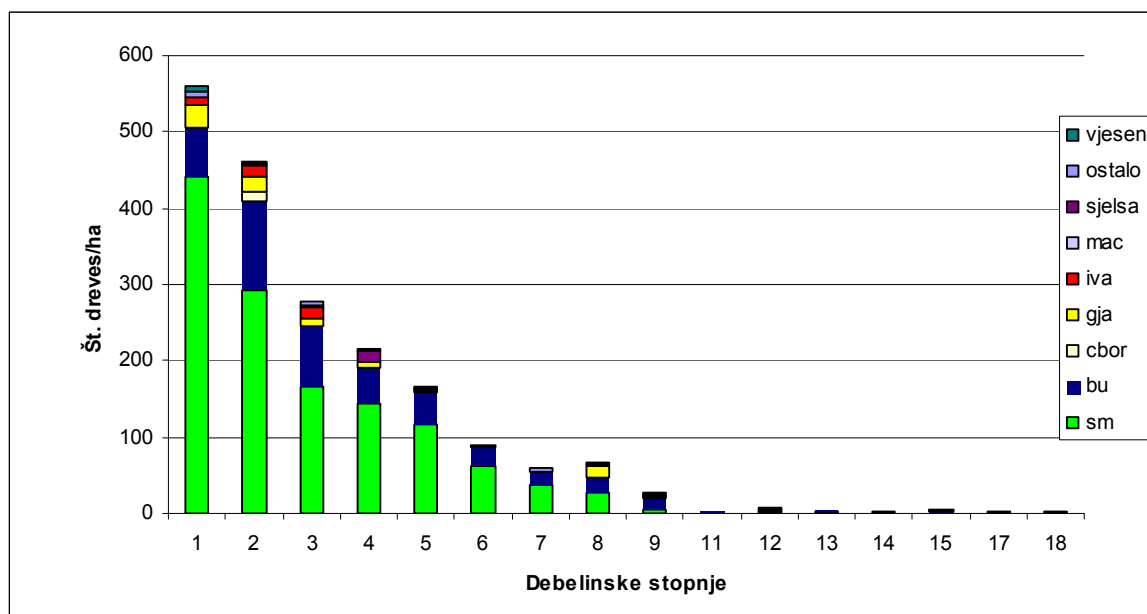
Slika 14: Porazdelitve lesne zaloge glede na drevesne vrste

Na sliki 15 lahko vidimo porazdelitev dreves po debelinskih stopnjah, ki nakazuje padajočo frekvenčno porazdelitev. V prvih dveh razredih prevladujeta bukev in smreka, opazimo pa še večje število dreves pionirskih vrst, kot sta mokovec in veliki jesen. V večjih debelinskih razredih se povečuje delež bukve in zmanjšuje delež smreke. Od 6. debelinskega razreda dalje večine manjšinskih vrst ni več zastopanih.

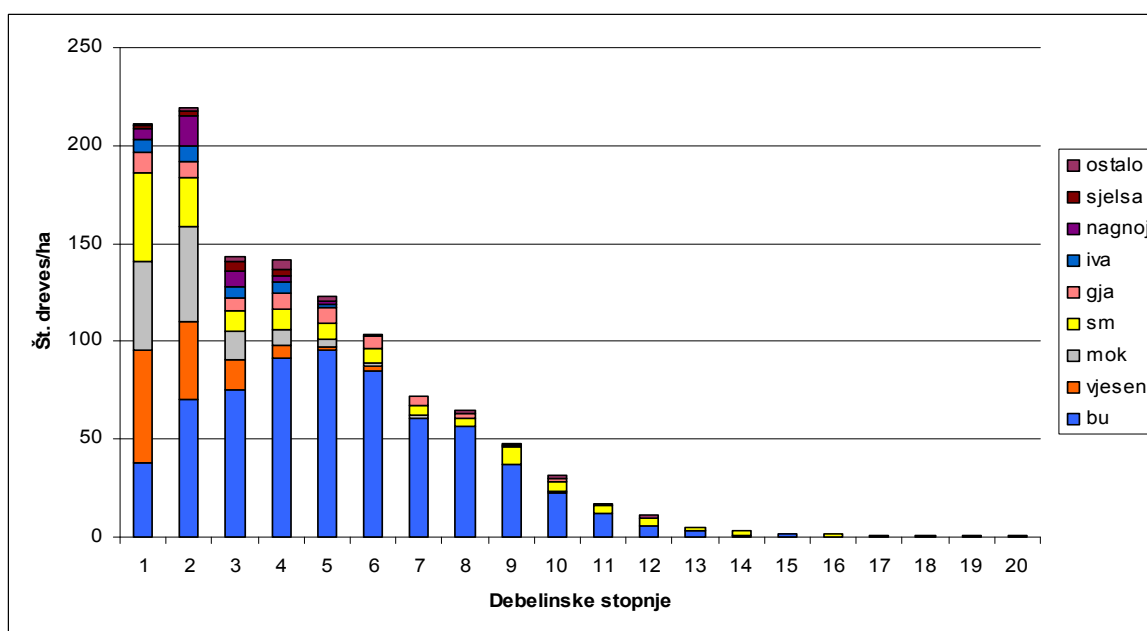


Slika 15: Porazdelitev dreves po debelinskih stopnjah

Porazdelitev dreves po debelinskih razredih prikazuje padajočo frekvenčno porazdelitev (slika 15). Ker je drevesna struktura ponekod spremenjena (zaradi antropogenega vpliva), smo oblikovali 2 stratuma. V prvem so ploskve, ki imajo več kot 40 % delež iglavcev (slika 16), v drugem (slika 17) pa vse ostale ploskve.



Slika 16: Porazdelitev dreves po debelinskih stopnjah na ploskvah z več kot 40 % deležem iglavcev



Slika 17: Porazdelitev dreves po debelinskih stopnjah na ploskvah z manj kot 40 % deležem iglavcev

Ustavljeno kamenje za drevesi smo opazili na 48 od 61 ploskev. Torej je bilo na najmanj 78 % ploskvah prisotno padajoče kamenje. Dreves, ki so zadrževala kamenje, je 424 oziroma 13,2 % vseh. V povprečju so drevesa na eni ploskvi zaustavila 6,9 kamnov. Največje število zaustavljenih kamnov na eni ploskvi je znašalo 56. Poškodbe zaradi kamenja na drevesih smo opazili na 24 ploskvah in na 923 drevesih, kar znaša 28,8 % vseh

popisanih dreves. Samo v dveh primerih je bila na drevesu prisotna več kot ena vidna poškodba.

Izračunali smo tudi stabilnost dreves. V ta namen smo uporabili razmerje med višino in premerom (dimenzijsko razmerje). Dobro stabilnost (vrednost R enaka ali manjša od 0,8) ima 55,1 % dreves, slabo stabilnost ($R > 0,8$) pa 44,9 % dreves.

Preglednica 6: Stabilnost prevladujočih drevesnih vrst (N=1937 dreves)

	DOBRA STABILNOST	SLABA STABILNOST
bukev	54 %	46 %
gorski javor	56 %	44 %
iva	74 %	26 %
mokovec	56 %	44 %
nagnoj	74 %	26 %
smreka	55 %	45 %

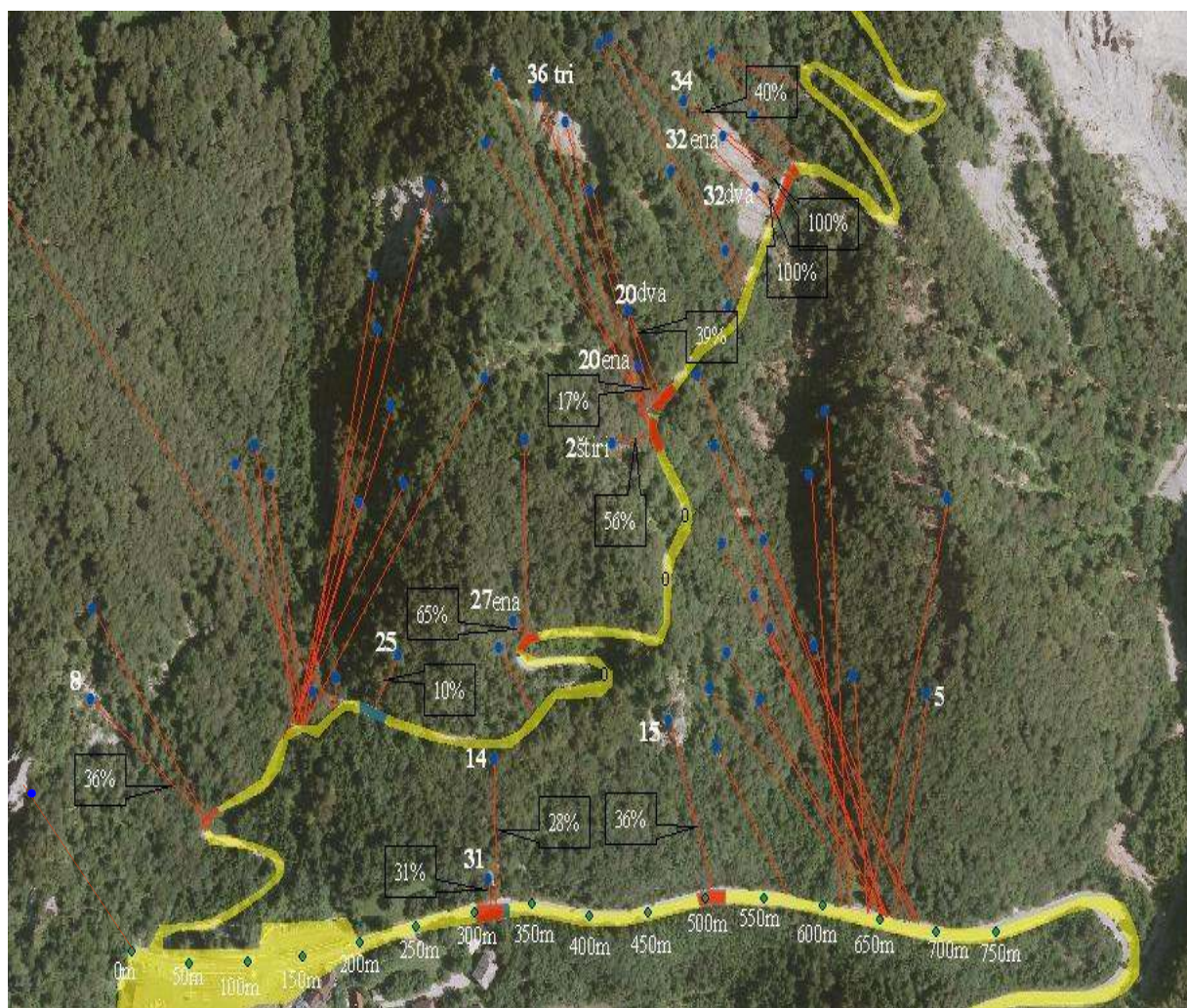
V teoretičnem prebiralnem gozdu, ki smo ga oblikovali za modeliranje, je 47.619 dreves na površini 83,8 hektarov oziroma 568 dreves/ha. Prebiralni sestavljata bukev in smreka, delež smreke je 10 %. Padajoča debelinska struktura je prikazana na sliki 19. Lesna zaloga znaša 265,5 m³/ha.



Slika 18: Porazdelitev dreves po debelinskih stopnjah v prebiralnem gozdu

6.2 ANALIZA OGROŽENOSTI S PROGRAMOM ROCKFOR^{NET}

Glavni rezultat simulacije je verjetnost tveganja pred padajočim kamenjem (PRH) podana v procentih. Torej, če je bila vrednost PRH 20 %, to pomeni, da od 100 spuščenih skal pride do končne točke 20 skal. Rezultate smo prikazali na sliki 19 tako, da smo z modro označili začetne točke proženja kamenja, pot kamna z rdečo črto in obarvali cesto glede na vrednosti PRH. Za vrednosti od 0 % do pod 10 % smo uporabili rumeno, za vrednosti od 10 % do pod 30 % modro in za vrednosti nad 30 % rdečo barvo.



Slika 19: Karta ogroženosti kot rezultat dela v Rockfor^{NET}. V okvirju so vrednosti PRH, vrednosti izven okvirja označujejo izvore.

V preglednici 7 prikazujemo rezultate programa Rockfor^{NET}. Izvorov, ki ogrožajo regionalno cesto, je manj kot izvorov, ki ogrožajo gozdno cesto. Izvori, ki ogrožajo

regionalno cesto, imajo zaporedne številke 14, 15 in 31. V našem delu smo se osredotočili na regionalno cesto.

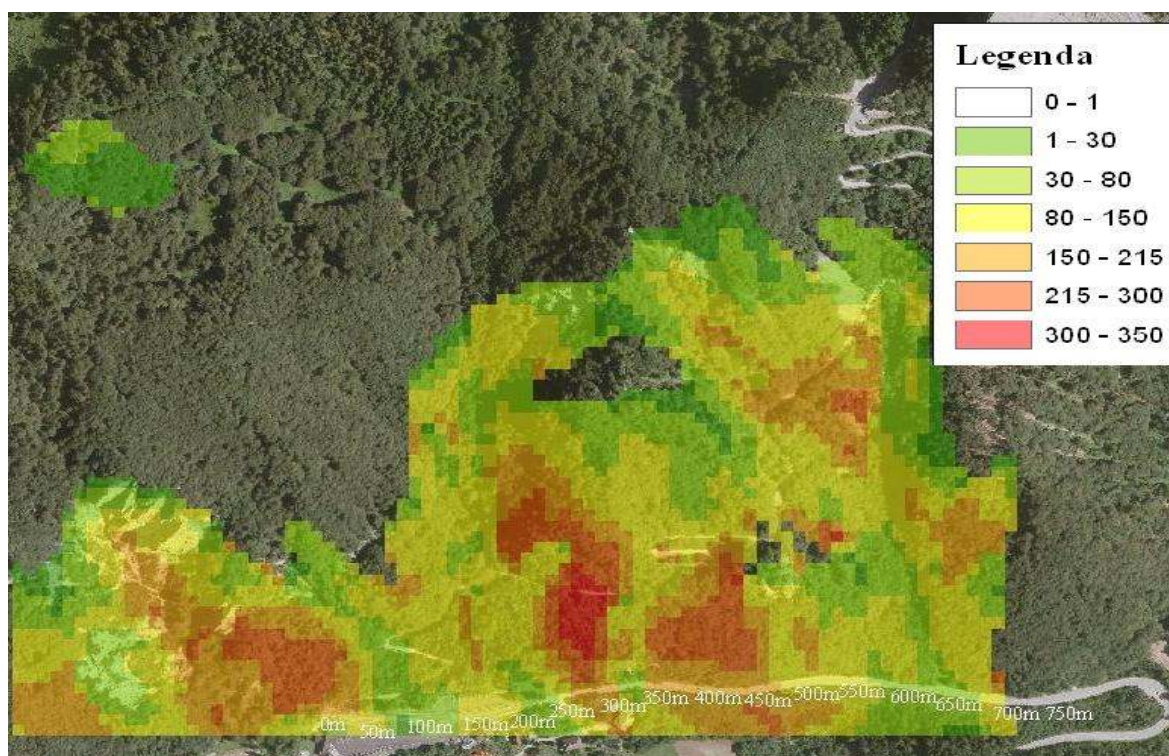
Preglednica 7: Rockfor^{net} rezultati za izvore, ki ogrožajo gozdno ali regionalno cesto

IZVOR	PRH (%)	PRIPOROČENA GOSTOTA (dreves/ha)	PRIPOROČEN POVPREČNI PREMER DREVES V SESTOJU (cm)	KINETIČNA ENERGIJA SKALE (kJ)
2 štiri	56	2290–2520	30–40	119,1
5	6	1190–1310	19–21	111,3
8	36	1160–1270	27–30	112,6
14	28	1530–1680	24–27	112,2
15	36	1810–2000	28–32	175
20 ena	17	1210–1330	28–32	51
20 dva	39	1660–1830	30–37	98,7
25	10	860–950	29–33	85
27 ena	65	2210–2430	30–40	66
31	31	2270–2490	24–27	17,9
34	40	1510–1660	30–39	177,4
36 tri	4	840–930	19–21	144
32 ena	100	0–0	0–0	105
32 dva	100	0–0	0–0	54,5

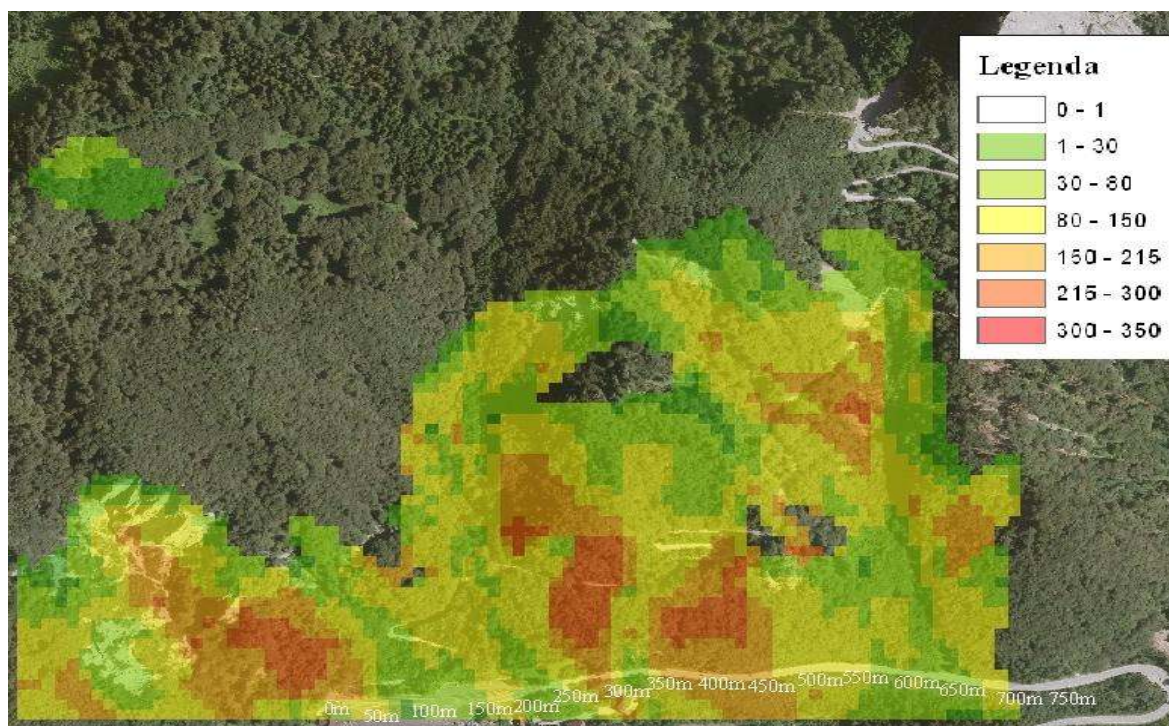
6.3 ANALIZA OGROŽENOSTI S PROGRAMOM ROCKYFOR3D

Program nam kot rezultat ponudi 14 oziroma v primeru simulacije brez gozda 12 rastrskih datotek, ki smo jih obrazložili v poglavju 5.2.3.2. Uporabili smo datoteko E_mean.asc, ki jo avtorji tudi najbolj priporočajo za ustvarjanje karte ogroženosti in Nr_deposited. Ker so razlike med posameznimi scenariji dokaj majhne in jih s karte težko razločimo, smo rezultate prikazali še s profilnimi grafi, ki prikazujejo povprečno energijo (E_mean) kamenja, ki dospe na cesto in število odloženega kamenja (Nr_deposited), ki se ustavi na proučevanem odseku ceste v odvisnosti od razdalje od vhoda v predor. Graf na sliki 29 smo ustvarili z namenom primerjave teh dveh rastrov. Ker med scenariji ni velikih razlik, smo za njegovo izdelavo uporabili povprečja.

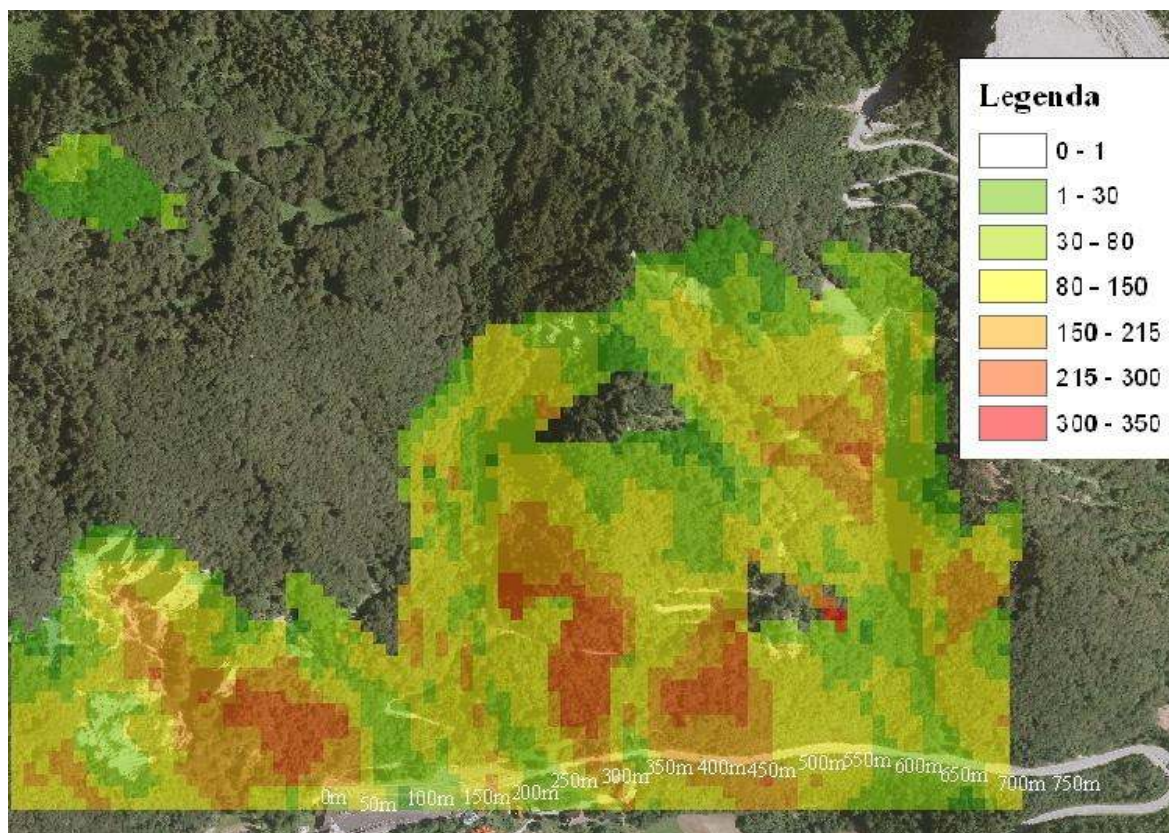
Ker med različnimi scenariji ni veliko razlik, prikazujemo karte ogroženosti samo za nekatere (od slike 20 do slike 23). Iz primerjave med kartami ogroženosti težko določimo, kateri scenarij je bolj nevaren za spodaj ležečo cesto, opazimo pa, da je lokacija njene ogroženosti podobna ne glede na uporabljen scenarij. Da bi bolje videli razlike med različnimi scenariji, smo uporabili profilne grafe, ki potekajo po preučevanem odseku ceste (od slike 24 do slike 27).



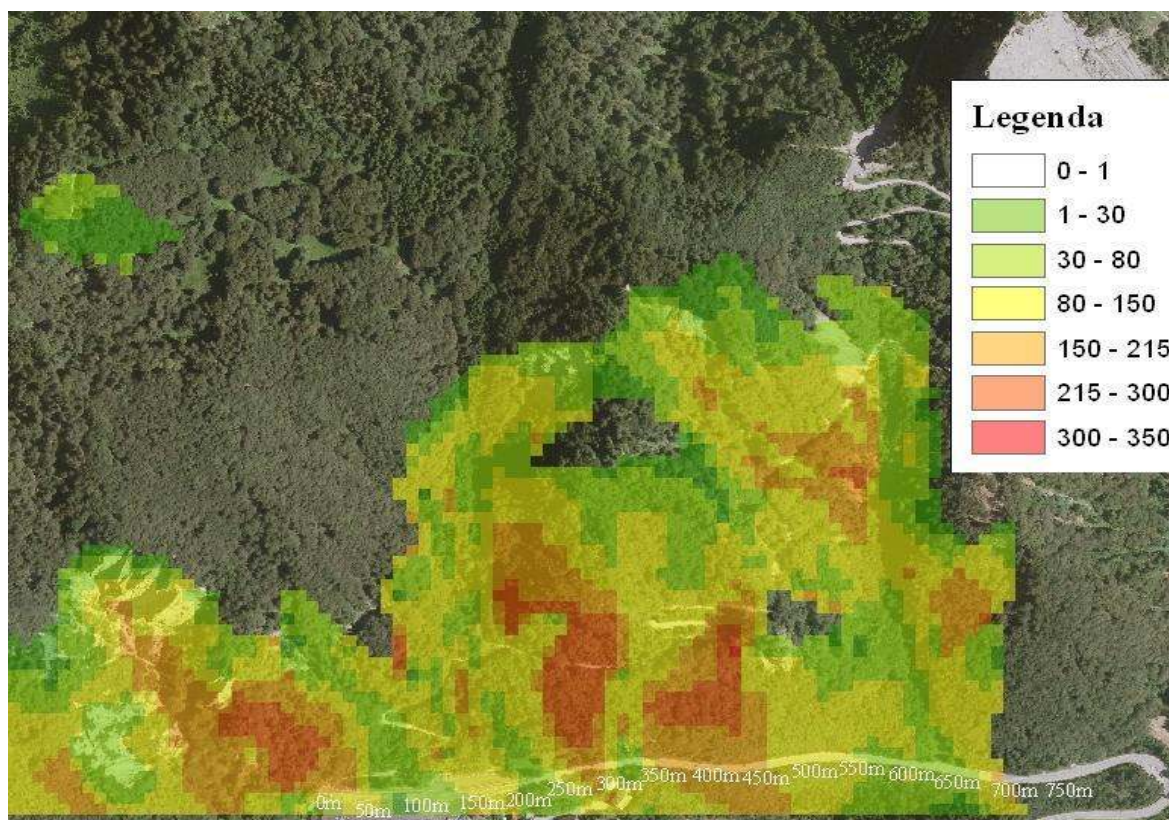
Slika 20: Karta ogroženosti za scenarij brez gozda (enote v legendi so v kN)



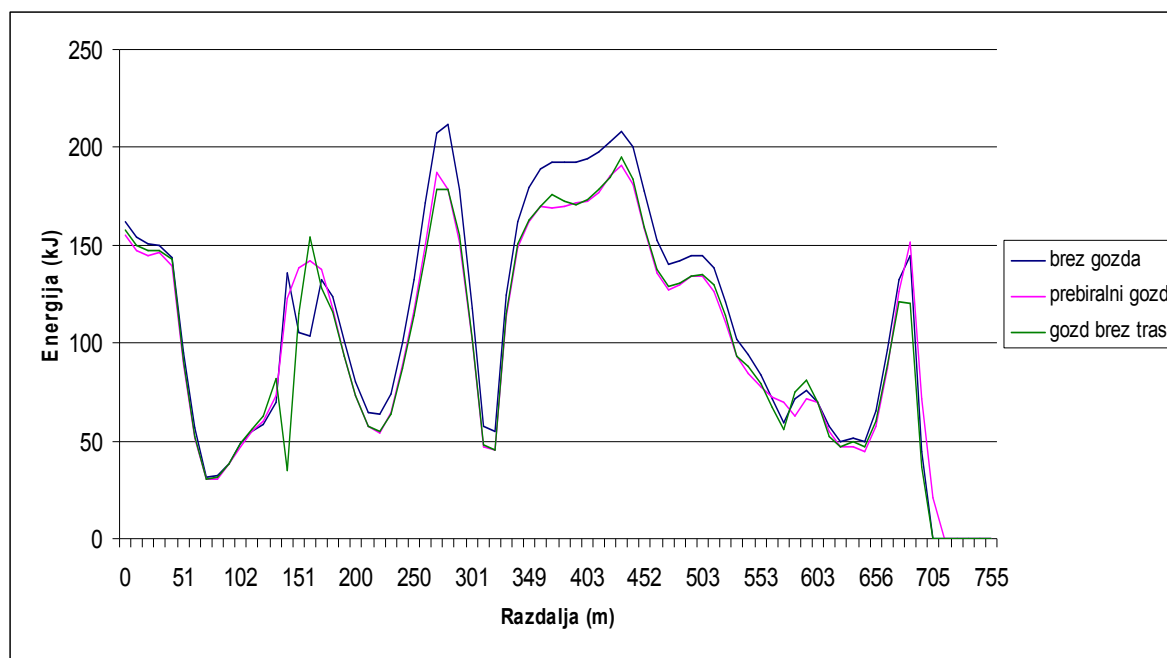
Slika 21: Karta ogroženosti za scenarij z gozdom in dejanskimi trasami (enote v legendi so v kN)



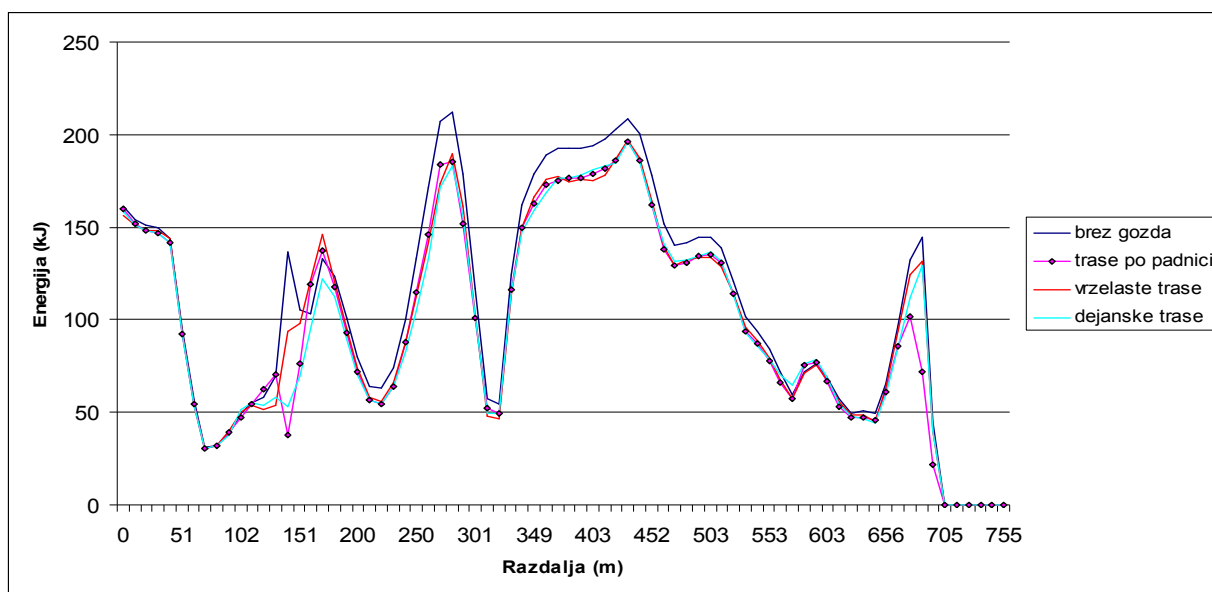
Slika 22: Karta ogroženosti za scenarij z vrzelastimi trasami (enote v legendi so v kN)



Slika 23: Karta ogroženosti za scenarij s prebiralnim gozdom (enote v legendi so v kN)

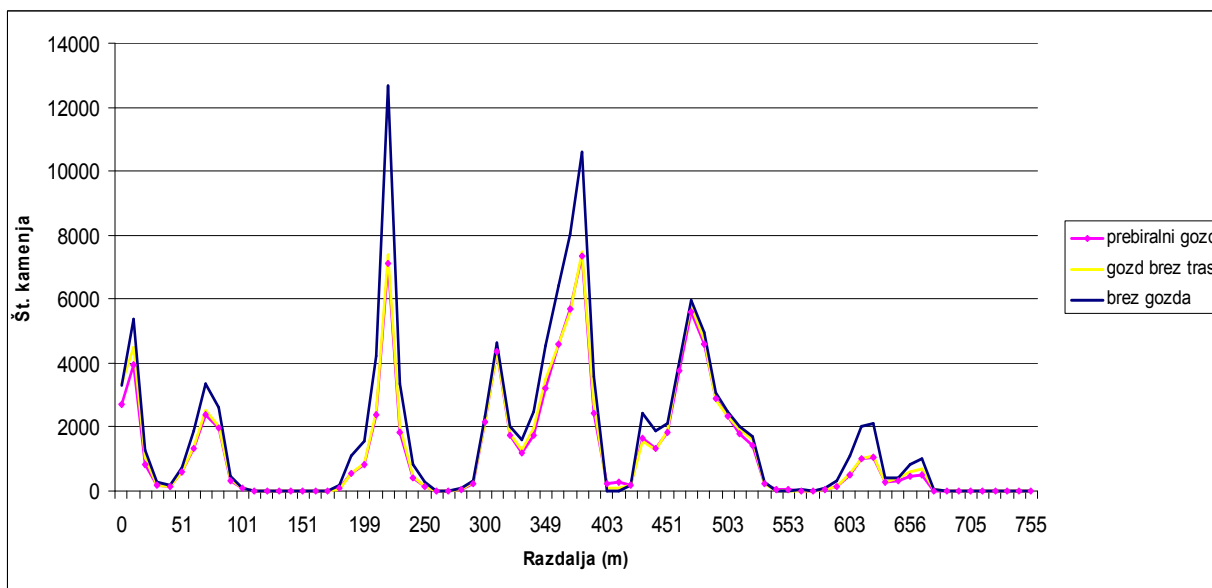


Slika 24: Profilni grafi rastrov s povprečno energijo padajočega kamenja za tri scenarije

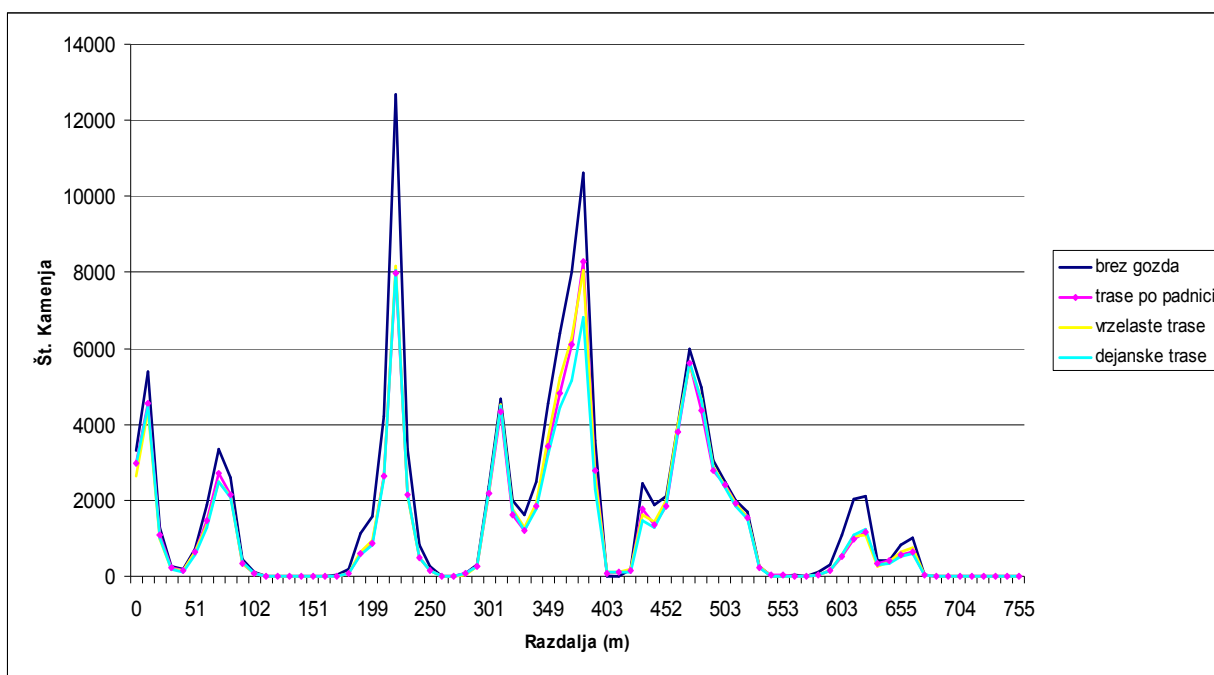


Slika 25: Profilni grafi rastrov s povprečno energijo padajočega kamenja za štiri scenarije

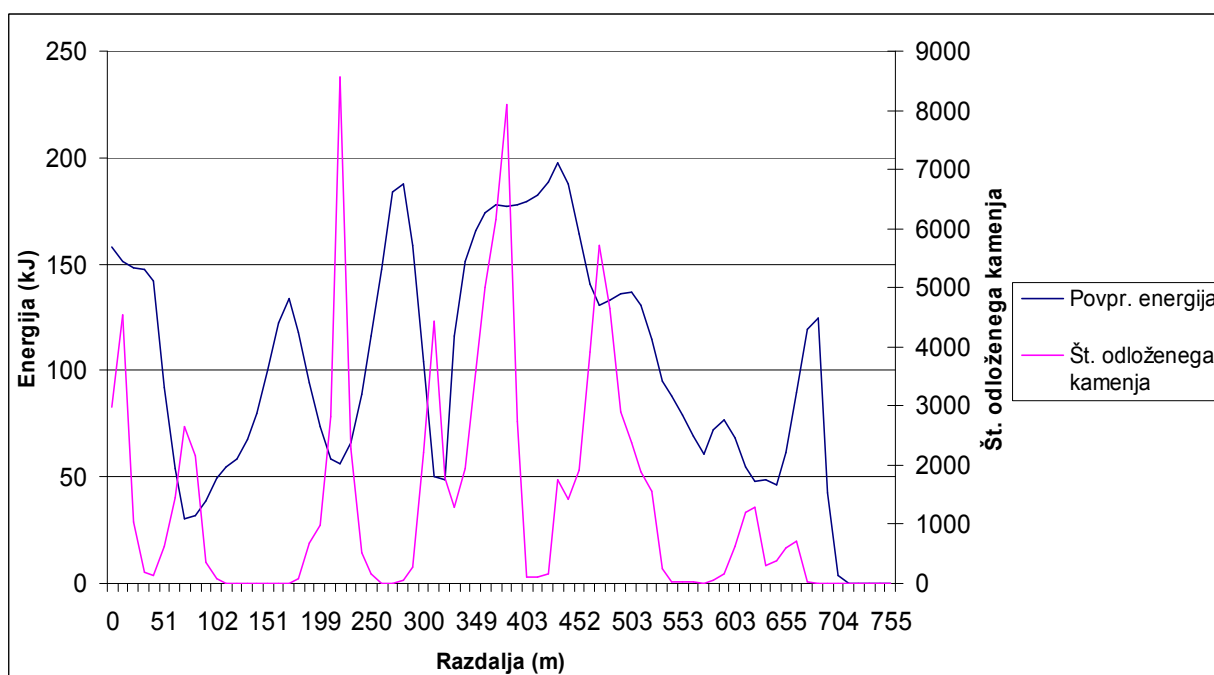
Na sliki 26 je razvidno, da se je ponekod na cesti ustavilo tudi več kot 12.000 skal. To ne pomeni, da se bo v nekem dogodku prečilo cesto toliko skal, lahko pa primerjamo različne lokacije ceste med seboj in določimo tiste kjer je število skal večje in tiste, kjer je število skal manjše. Na to število moramo gledati relativno, ker smo izvedli 3000 ponovitev simulacij, kar je skupno nanese 1.362.000 simuliranih skal na pobočju. 12.000 skal tako ne predstavlja velik delež celotnega števila simuliranih skal.



Slika 26: Profilni grafi rastrov s številom odloženega kamenja za tri scenarije



Slika 27: Profilni grafi rastrov s številom odloženega kamenja za štiri scenarije



Slika 28: Primerjava profilnih grafov s povprečno energijo padajočega kamenja in s številom odloženega kamenja

Zanimiv podatek je tudi delež skal, ki ob različnih simuliranih scenarijih dosežejo cesto (preglednica 8). Ta podatek smo dobili tako, da smo delili vsoto skal, ki so prispele na cesto s številom vseh skal, spuščenih v simulaciji. Vrednosti vseh scenarijev so okoli 7 %,

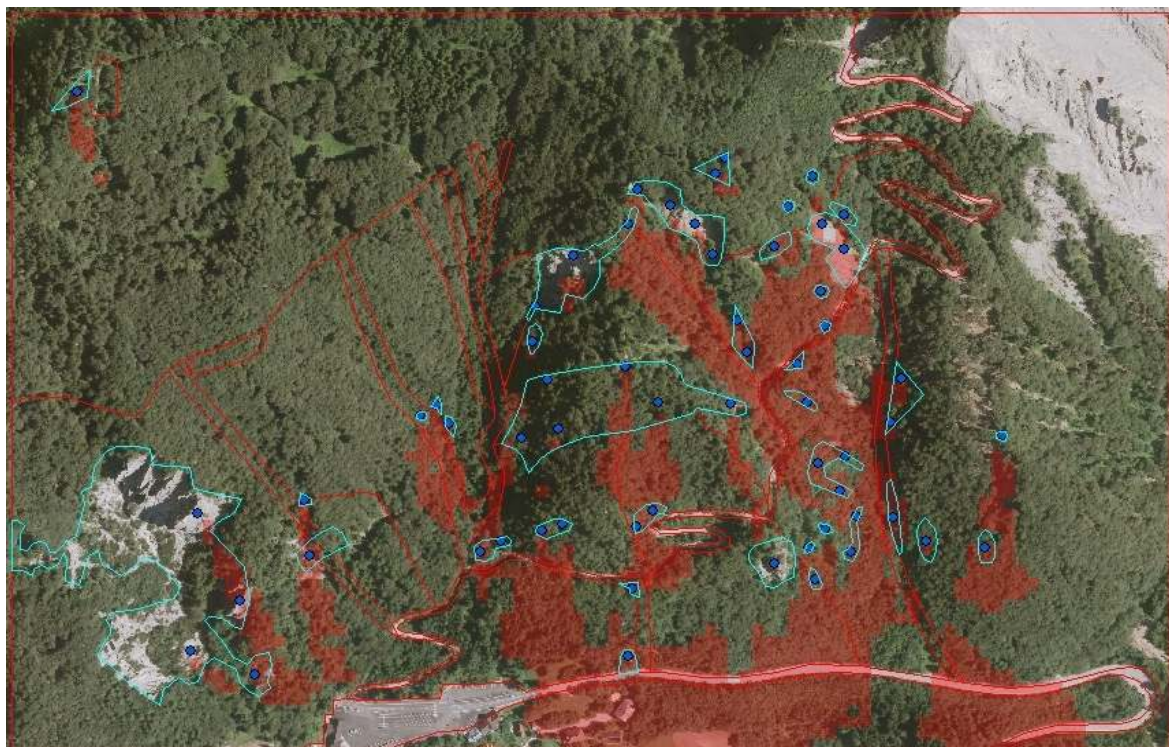
le delež ne zaustavljenih skal scenarija brez gozda je nekoliko večji. Imeli smo podatke o številu odloženega kamenja za vsakih 10 m razdalje preučevanega cestnega odseka.

Preglednica 8: Pregled parametrov pri izračunu števila odloženega kamenja (1.362.000 spušenih skal)

	VSOTA (št. kamenja)	POVPREČJE (št. kamenja)	STANDARDNI ODKLON	DELEŽ SKAL, KI SO PRIŠLE DO CESTE (%)
NIČELNO STANJE	96.998	1.276	1.773	7,1
BREZ GOZDA	129.847	1.709	2.456	9,5
TRASE PO PADNICI	101.274	1.333	1.874	7,4
VRZELASTE TRASE	102.200	1.345	1.898	7,5
PREBIRALNI GOZD	95.115	1.252	1.747	7,0
GOZD BREZ TRAS	99.323	1.307	1.806	7,3

6.4 KARTA OGROŽENOSTI Z METODO SENČNEGA KOTA

Na sliki 29 smo s svetlo modro barvo označili območja izvorov kamenja, s temno modro točke, za katere je program izračunal senčne kote oziroma domet kamenja, katerega območje je označeno z rdečo. Velikost senčnega kota smo nastavili na 32°.



Slika 29: Zemljevid največjega dosega kamenja (metoda senčnega kota) z izločenimi izvori kamenja

7 DISKUSIJA

7.1 SPLOŠNA PODOBA GOZDA

V vrstni sestavi glede na število dreves prevladuje bukev. Glede na to, da proučevano območje spada v rastiščni tip *Anemone trifoliae-Fagetum* ter upošteva ekspozicijo, bi pričakovali še večji delež bukve in manjši delež smreke. Smreko so vsaj v spodnjem delu proučevanega območja umetno nasadili. Mešanost drevesnih vrst glede na lesno zalogo (slika 14) kaže boljše stanje, saj se delež bukve še poveča, iz česar sklepamo, da smreka prevladuje predvsem v mlajših razvojnih fazah. To je najbolj razvidno iz porazdelitve dreves po debelinskih stopnjah na sliki 15, kjer v prvi debelinski stopnji prevladuje smreka s 40 %, v drugi pa se uvršča ob bok bukvi s 25 %. Delež bukve od druge debelinske stopnje do devete narašča in prevladuje nad drugimi vrstami, nato pa se začne zmanjševati. Od 15. debelinske stopnje dalje bukve ni več, prevladuje pa smreka. V prvih dveh debelinskih stopnjah opazimo tudi razmeroma precejšen delež velikega jesena, mokovca ter malo manjši delež gorskega javorja in nagnaja. Ugotovili smo, da je dejanska lesna zaloga gozda krepko višja od uravnotežene zaloge prebiralnega gozda, zato je potrebno ukrepanje. Ocena uravnotežene lesne zaloge prebiralnega gozda znaša 256 m³/ha, dejanska lesna zaloga gozda znaša 610 m³/ha, kar je za 138 % preveč.

Kumulativna porazdelitev premerov nakazuje, da so sestoji raznomerni, opazno je pomanjkanje dreves v tretji debelinski stopnji. Bolj podroben pregled (slika 15 in slika 17) po drevesnih vrstah pa pokaže drugačno sliko. Bukov je ima zvonasto porazdelitev, kar kaže na enomerno strukturo, ki nudi slabšo elastičnost in odpornost. Takšni gozdovi opravljajo varovalno funkcijo le, kadar jih sestavljajo odrasla drevesa, ki pa zaradi svoje teže niso najprimernejša za plitvejša tla. Na tem območju želimo sestoj s prebiralno strukturo, kjer prevladuje bukev. V kolikor želimo to doseči, bo potrebno obrniti trend slabega pomlajevanja bukve in s tem povečati delež mlajših razvojnih faz. Pri tem moramo biti previdni, saj tako lahko na veliki površini dobimo močno razredčene sestoj, kar kratkoročno in srednjeročno poveča ogroženost ceste. V kolikor gledamo porazdelitev premerov na ploskvah z več kot 40 % deležem iglavcev (slika 16), opazimo padajočo frekvenčno porazdelitev, kjer prevladuje smreka.

Po večini je dobro stabilnih 55 % dreves, kar ni dobro stanje. Bolj stabilna sta le iva in nagnoj, a ker je njuno število majhno, ne vplivata veliko na celotno stabilnost sestojev.

7.2 ANALIZA OGROŽENOSTI S PROGRAMOM ROCKFOR^{NET}

Pri delu s tem programom smo imeli možnost spustiti eno skalo od izvora proti pobočju. Pri poizkusih, kjer smo uporabili podatke dejanskih lastnosti terena, je bila vrednost PRH povsod pod 1 %, razen pri enem izvoru, kjer gre v bistvu za melišče. Pri naslednjem poizkusu so nas zanimali dogodki z veliko močjo in dolgo povratno dobo, zato smo spustili skalo večjih dimenzij. Uporabili smo dimenzijo 0,5 m x 0,6 m x 0,6 m, ker je to največja od dimenzij skal, ki smo jih našli na območju.

Na regionalni cesti smo določili dva ogrožena odseka, prvega na razdalji od 300 m do 325 m od predora in drugega na razdalji od 500 m do 525 m od predora. Na razdalji približno 300–325 m se nahaja prvi odsek, ki ga ogrožata izvora številka 14 in 31. Prvi ima vrednost PRH 31 % in drugi 28 %. Kinetična energija prvega je le 17,9 kJ, kar je v primerjavi s 112,2 kJ drugega izvora zelo malo, a ker je vrednost PRH verjetnost, da skala prispe v ciljno točko (do ceste), je zaradi zelo kratke razdalje ta vrednost malo večja. Pri drugem izvoru z večjo kinetično energijo skale pa je zaradi daljše razdalje pomemben tudi varovalni učinek gozda, kjer je posledično zaradi večjega števila dreves tudi večja verjetnost zaustavitve skale. Drugi odsek na razdalji od približno 500 m do 525 m ogroža izvor številka 15, ki je nekaj deset metrov visoka skalna stena. Razdalja do ceste je podobna kot pri izvoru št. 14, a ima skala zaradi velikega padca s stene precej večjo kinetično energijo, ki znaša 175 kJ. To močno prispeva k večji verjetnosti (PRH znaša 36 %), da bo skala prišla do ceste, saj ima tudi večjo rušilno moč in lahko na poti podre drevesa, ki jih skale z izvora št. 14 ne morejo.

Program nam predlaga tudi povprečno gostoto sestoja in njegov povprečni premer, ki zagotavljata relativno varnost (vrednost PRH <1 %). V primeru prvega odseka program za gozd pod izvorom št. 14 predlaga 1530–1680 dreves/ha s prsnim premerom 24–27 cm, za gozd pod izvorom št. 31 pa gostoto 2270–2490 dreves/ha s prsnim premerom 24–27 cm. Kot vidimo, je potrebno na te rezultate gledati z distanco, saj je takšno število dreves s

predlaganim premerom nerealno. Če pride do takšnih števil, to pomeni, da z gojitvenimi ukrepi ne moremo ukrepati do te mere, da bi zagotovili relativno varnost ($PRH < 1 \%$) zato so potrebni tehnični ukrepi. Lahko pa jih vzamemo kot priporočila, v katero smer ukrepati. Program je pravilno napovedal velik PRH (100 %) pri izvorih 32 ena in 32 dva (na sliki 19) (isto melišče), a se ni obnesel najbolje pri predlaganih ukrepih, ki jih sploh ni. V takšnih posebnih primerih bi lahko predlagal pogozditev ali pa tehnične ukrepe.

Zanimivo bi bilo, če bi nam program dopuščal, da sami nastavimo, kolikšna vrednost PRH nam predstavlja relativno varnost (ker je 1 % dokaj oster kriterij) in bi nato poizkušali doseči premer in gostoto predlaganega sestoja. Pri delu s tem programom smo imeli težave z določanjem poti kamenja, ker je ta morala biti v ravni črti, kar pa večkrat ni bilo realno zaradi topografije terena. Tako dobljeni nakloni terena, dolžine poti kamenja in sama smer padanja kamenja torej niso najbolj natančni. Druga slabost je, da program ne upošteva izgube energije ob odboju, ne upošteva dejanske porazdelitve dreves v prostoru, ampak jih razvrsti v linije ter ne upošteva možne odklone kamenja levo in desno od »začrtane« poti, ki je v naravi pogosta in je posledica oblike reliefa in/ali odboja od drevesa. To ima za posledico tudi težjo določitev dolžine ogroženega odseka ceste, ker ne vemo, koliko metrov levo in desno od sečišča premice (ki ponazarja pot kamenja) s cesto je ta še ogrožena. Možno bi bilo, da sami določimo možen odklon kamenja, na primer 10° levo in desno od premice, a to bi bil vseeno le približek, ker ima največjo vlogo pri tem oblika terena, ki je v našem primeru zelo razgibana ter raznolika in temu primerni so tudi odkloni poti kamenja. Berger in Dorren (2007) sta opisovala še dodatne slabosti, kot so, da pri zaustavljanju kamenja program ne upošteva hrapavosti terena in ne upošteva vodoravnih površin na poti kamenja – kot je na primer gozdna cesta. Tipičen teren, kjer je najbolj primeren za uporabo, lahko opišemo kot skalni izvor, pod katerim je homogen sestoj na površini z enakomernim naklonom in nerazgibanim reliefom.

Rockfor^{NET} v primerjavi z Rockyfor3D omogoča natančnejši vpliv drevesnih vrst, saj lahko izbiramo med devetimi, medtem ko Rockyfor3D loči le med iglavci in listavci. Je enostavnejši, hitrejši in cenejši, ker ne zahteva izdelave digitalnega modela reliefa in celotnega popisa lastnosti terena. Potrebujemo le izvore, topografsko karto, izrisane gozdne sestoje s povprečnimi prsnimi premeri, številom dreves na hektar in vrstno sestavo.

7.3 ANALIZA OGROŽENOSTI S PROGRAMOM ROCKYFOR3D

Ko smo uporabili povprečno ugotovljeno velikost kamenja, smo s profilnimi grafi komaj opazili razliko med gozdno in negozdno površino. Ker so z večjimi skalami razlike očitnejše smo tu uporabili iste dimenzije skal. Prav tako smo uporabili iste dimenzije zaradi lažje primerljivosti rezultatov s prejšnjim programom. Za natančnost je med drugim pomembna ločljivost digitalnega modela reliefa, ki je v našem primeru znašala 12,5 m x 12,5 m, kar je za evropske razmere dobro, še boljšo resolucijo bi imeli z LiDAR (»Light Detection and Ranging«) tehnologijo, ki pa je finančno predraga. Ta program je primernejši za delo na večjih površinah, upošteva več parametrov, ki vplivajo na pot in moč padajočega kamenja in posledično na stopnjo ogroženosti nekega območja (npr. ceste), ter je zaradi tega tudi natančnejši, zahteva pa nekoliko več terenskega dela in računalniškega znanja.

Drevesa za razliko od prejšnjega programa niso bila postavljena v linije, ampak naključno znotraj vsakega sestoja (poligona), upoštevajoč gostoto dreves, kar je seveda prednost. V primeru prebiralnega gozda smo sami določili X in Y koordinate posameznih dreves in njihove premere. Rockyfor3D ima še eno bistveno prednost pred Rockfor^{NET}, saj ne upošteva toliko heterogenosti sestojev. Od izvora do zaustavitve kamenja lahko ta prečka več heterogenih sestojev, od katerih vzamemo ponderirane vrednosti za povprečni prsni premer, gostoto in vrstno sestavo in tako dejansko ustvarimo homogen sestoj, ki je sicer povprečje več heterogenih sestojev, a je rezultat tako popačen. Rockyfor3D pa upošteva vpliv posameznih sestojev na kamenje na njegovi poti in tako bolj upošteva značilnosti gozda. Kot smo izpostavili v prejšnjem podpoglavju, Rockfor^{NET} ne upošteva možnega odklona poti kamenja, s čimer pri programu Rockyfor3D nimamo težav.

Opazili smo še eno pomanjkljivost pri obeh programih. Del te naloge je bilo proučiti vpliv različnih tras žičnega spravila na ogroženost ceste. Pri obeh programih smo morali tam, kjer je bil izveden posek za traso žičnega spravila, to površino označiti kot negozdno površino. Zaradi boljše varovalne funkcije je na sečišču priporočljivo puščati visoke panje Diaci in sod. (2012) in tudi mi smo jih našli na trasah. Čeprav Rockyfor3D ne zazna bistvenih razlik med različnimi scenariji in pri trenutni verziji ni pričakovati, da bi bili

rezultati boljši, če bi lahko na posekanih območjih upoštevali tudi vlogo visokih panjev pri zaustavljanju kamenja, bi bilo dobrodošlo, da bi v naslednjih bolj izpopolnjenih verzijah to možnost imeli.

Na profilnih grafih, ki prikazujejo povprečno energijo, je krivulja za negozdno površino praviloma malo nad ostalimi krivuljami scenarijev z gozdom (gozd brez tras žičnega spravila, gozd z dejanskimi trasami, gozd s poševnimi trasami, gozd s trasami po padnici terena in prebiralni gozd), med katerimi pa ni bistvenih razlik. Razlika med krivuljama za negozdno in katerokoli od gozdnih krivulj je premajhna. Tako ne moremo potrditi delovnih hipotez, ki se nanašajo na ugotavljanje razlik med različnimi scenariji, a smo mnenja, da rezultati na profilnih grafih dokaj natančno prikazujejo lokacije ogroženosti ceste, ker se viški povprečne kinetične energije skal različnih scenarijev ujemajo. Možni razlagi za takšne rezultate sta dve, ali program ne zazna razlik med različnimi scenariji, ali pa te dejansko niso tako velike.

Na profilnih grafih vidimo prvo povečanje ogroženosti ceste zaradi padajočega kamenja oz. skal že takoj pri vhodu v predor. Zaradi razmeroma majhne razdalje med izvorom ter cesto učinek gozda niti ni velik in so si krivulje različnih scenarijev zelo blizu. Višek povprečnih energij skal se giblje okoli 155 kJ. Rockfor^{NET} ni zaznal nevarnosti. Drug višek ima podobne vrednosti povprečne energije skal in se nahaja na razdalji 130–180 m od vhoda v predor, kar smo pričakovali, saj ustreza lokaciji večjega jarka, ki je dobro viden tudi na topografski karti in v katerega gravitirajo različni izvori. Krivulje dosežejo najvišje vrednosti pri okoli 140 kJ–155 kJ. Rockfor^{NET} ni zaznal nevarnosti. Vrednosti tretjega viška, ki je na razdalji 250–290 m so večje, od 180 kJ do 210 kJ. Četrty višek ima podobne vrednosti kot tretji, je najdaljši in se nahaja na razdalji od 330 do 450 m, ki mu sledi še manjši višek na razdalji okoli 500 m z vrednostmi 135 kJ–145 kJ. Rockfor^{NET} je zaznal večjo nevarnost za padanje kamenja na razdalji od okoli 300–325 m, kar je ravno med tretjim in četrty viškom. Domnevamo, da pride do takšnega rezultata zaradi že opisane pomanjkljivosti – neupoštevanja odstopanja poti kamenja od začrtane premice in bi ob upoštevanju dejanske poti kamenja program zaznal nevarnost na primerljivi lokaciji kot Rockfor3D, to je bodisi tam, kjer je tretji ali pa četrty višek. Zadnji višek se nahaja na razdalji od 660 do 680 m in ima maksimume krivulj med 100 kJ in 150 kJ, kar so tudi

največje opažene razlike. Najmanjšo vrednost ima trasa po padnici terena (100 kJ), kar je nepričakovano. Dejanske trase žičnega spravila in vrzelaste trase imajo vrednosti okoli 130 kJ. Možna razlaga za manjše vrednosti trase, ki poteka po padnici terena, je, da nad njo ni pomembnejšega izvora skal. Vrzlaste trase potekajo poševno in so v vplivnem območju enega ali več izvorov in tako bolj neugodno vplivajo na ogroženost ceste. Naslednja možna razlaga je, da program preprosto napačno izračuna povprečno energijo.

Med delom se nam je pojavilo vprašanje o primerljivosti rastrov E_{mean} in $Nr_{deposited}$ pri ugotavljanju ogroženosti ceste. Vemo, da število odloženega kamenja ni ključen podatek, pomembna je njegova energija in s tem povezana rušilna moč. Ta dva rastra nista neposredno primerljiva med seboj, primerjali smo le lokacije viškov in padcev krivulj. Tako torej večje število odloženega kamenja ne predstavlja nujno nevarnosti za cesto, ker je lahko njegova energija majhna. Na sliki 29 vseeno prihaja do določenih neskladij, ko ima na mestu drugega in tretjega viška krivulje s povprečno energijo, krivulja s številom odloženega kamenja svojo najmanjšo vrednost (št. odloženega kamenja je 0). Na razdalji 300 m ima krivulja s povprečno energijo minimum, krivulja s številom odloženega kamenja pa manjši maksimum. Vzroka tega neskladja nismo odkrili.

Program Rockyfor3D temelji na poizkusu na eni lokaciji v Franciji in ker niso imeli empiričnih podatkov o padanju skal pri npr. manjših naklonih, drugačnih oblikah skal, drugačnih vrstah kamnin, vrednostih koeficientov obnove, ki niso prisotni na tamkajšnji lokaciji itd., so za uporabo programa v drugih pogojih vrednosti izpeljali preko raznih algoritmov ali pa s pomočjo podatkov v literaturi, kar pa ni isto, kot če bi imeli empirične podatke. Podobne pomanjkljivosti so izpostavili tudi Dorren in sod. (2006), ki vidijo možnosti za izboljšave simulacij v programu Rockyfor3D prav v zbiranju kvantitativnih podatkov o oblikah in velikostih skal, o učinku materiala na površju (hrapavost), o koeficientih izgube energije in o zmožnosti grmovja za zaustavljanja kamenja in skal. Glede na to, da so razvili že 5. verzijo programa, ne dvomimo, da bodo naslednje bolj prilagojene tudi drugim lokacijam.

7.4 METODA SENČNEGA KOTA

Zemljevid ogroženosti glede na maksimalni senčni kot prikazuje največji možen doseg kamenja – rdeče obarvana območja na sliki 29. Ta območja segajo do spodnje stranice te slike in domnevamo, da se še nadaljujejo. Če bi torej želeli videti, kakšno je celotno območje ogroženosti, bi morali uporabiti še večji digitalni model reliefa. S to metodo lahko ugotovimo, ali obstaja verjetnost, da se na določenem območju pojavi kamenje in zadostuje za določevanje površine gozda s poudarjeno zaščitno funkcijo. Rockfor^{NET} in Rockyfor3D pa poleg tega ponudita še dodatne informacije (kinetična energija, število ustavljenih skal, priporočeni ukrepi ...). Metoda senčnega kota je manj natančna, ker ne upošteva drevesne plasti, oblike skal, njihove kinetične energije, natančne oblike terena, lastnosti površine terena in drugih dejavnikov. Rdeče obarvana območja prekrivajo skoraj celotno cesto, s to metodo pa ne zaznamo kamenja na prvih 200 metrih ceste, kjer smo z Rockyfor3D na določenih mestih zaznali nevarnost.

7.5 PRIMERJAVA Z DRUGIMI RAZISKAVAMI

Podobno kot Motta in Haudemand (2000) na primeru gozda Ban de Ville in O'Hara (2006), smo kot glavne probleme opredelili pomanjkanje pomlajevanja, preveliko starost sestojev in njihovo enomernost ter ponekod neprimerno mešanost drevesnih vrst.

Dorren in sod. (2006) so imeli na proučevanem območju v Franciji povprečni naklon 38°, delež skal ustavljenih v prvih 223,5 m razdalje po gozdni površini je znašal 74 %, na negozdni površini z razdaljo 185 m pa le 4 %. Povprečna gostota dreves je znašala 290 dreves/ha, povprečen prsni premer pa 31 cm. Največja kinetična energija v simulaciji brez gozda je znašala 782 kJ. Na naši lokaciji je bil povprečen naklon manjši, okoli 34°. Delež ustavljenih skal na gozdni površini, pri različnih scenarijih z gozdom, je znašal okoli 93 %, pri uporabi scenarija brez gozda pa 90,5 %. Povprečna gostota dreves je bila pri nas 780 dreves/ha, povprečen prsni premer pa 25 cm. Največja kinetična energija skale v naši simulaciji brez gozda je znašala 212 kJ. Kot je razvidno, je raziskavi težko medsebojno primerjati zaradi različnega povprečnega naklona, gostote in povprečnega prsnega premera dreves. Poleg tega je povprečen premer simuliranih skal, ki smo jih uporabili znašal 0,56

m, pri poizkusu Dorrena in sod. (2006) pa je bil skoraj dvakrat večji. Zaradi teh dejavnikov so bile kinetične energije skal precej večje in so imele tudi večjo rušilno moč kot v našem primeru. Tako lahko zaključimo, da v našem primeru ni bilo tako velikih razlik med simulacijo z gozdnimi scenariji (in med samimi gozdni scenariji) ter negozdnim scenarijem, kot pri poizkusu Dorrena in sod.(2006) v Franciji, zaradi manjšega naklona terena, večje gostote dreves, večjega prsnega premera dreves in manjšega premera skale v simulaciji. Kinetične energije skal so bile v naši raziskavi manjše in te so se tudi pri scenariju brez gozda ustavljale, še preden so prišle do ceste. V ločenih simulacijah smo ugotovili, da je pomembno, kolikšno razdaljo prepotuje padajoča skala. Da skala razvije svojo največjo hitrost in energijo, potrebuje poleg dovolj velikega naklona tudi dovolj veliko razdaljo. Pobočja s tako velikim naklonom so bila na Ljubelju prekratka. Poleg tega ne smemo zanemariti tudi drugih razlik. Poizkus Dorrena in sod. (2006) je obsegal manjše področje, katerega naklon je bil bolj ali manj enakomeren, pod skalno steno pa je bilo še 40 metrov neporaščenega pobočja. Uporabili so okrogle skale, ki hitreje razvijejo svojo največjo hitrost, kot kvadrataste, ki smo jih uporabili mi. Na raziskovalnem objektu v Franciji so imele skale gostoto 2800 kg/m^3 , pri nas so bile pogostejše skale z gostoto 2700 kg/m^2 , ki so lažje in v istih pogojih dosežejo manjšo kinetično energijo. Naše pobočje je bolj razgibano in na nekaterih področjih nad proučevano cesto znatno zmanjša svoj naklon, poleg tega pod izvori padajočega kamenja v večini primerov ni večjih neporaščenih površin. Ti razlogi so vsekakor vplivali na manjše kinetične energije simuliranih skal.

Dorren in sod. (2005) so v sklopu že omenjene raziskave v Franciji ugotovili, da se število skal, ki dosežejo gozdno cesto zmanjša za 63 %, če je prisoten gozd. V našem primeru je ta delež znašal le 27 %. Delež je v našem primeru tako majhen, ker imamo v scenariju brez gozda veliko število skal, ki se ustavijo same, še preden se prikotajo do ceste. V raziskavi Dorrena in sod. (2006) pa je delež skal, ki se ustavijo na negozdni površini majhen, le 4 % in je tako razlika med gozdno in negozdno površino večja.

Veliko avtorjev (Jaboyedoff in Labiouse (2003), Evans in Hungr (1993), Dorren (2003) se strinja, da je za predhodno oceno največjega dosega kamenja učinkovita metoda senčnega kota. Tudi mi smo prepoznali uporabnost te metode in ugotovili, da zadostuje za prvo določevanje površine gozda s poudarjeno zaščitno funkcijo. Za natančnejše določevanje

površine s poudarjeno zaščitno funkcijo z več informacijami o stopnji nevarnosti, pa je potrebna uporaba drugih metod.

8 ZAKLJUČEK

V nalogi smo s pomočjo treh različnih metod ocenili območja ogroženosti na proučevanem cestnem odseku. Vsaka od teh metod ima določene prednosti in slabosti. Na podlagi opisanih prednosti in slabosti menimo, da smo bolj natančne rezultate dobili s programom Rockyfor3D, ki je trenutno eno od najbolj izpopolnjenih orodij za izvajanje simulacij procesa padajočega kamenja in je primerno za izdelavo kart ogroženosti. Ostali dve metodi pa sta primerni, če želimo hitre in cenejše rezultate, pri čemer žrtvujemo njihovo natančnost.

Lesna zaloga je prevelika glede na idealno stanje. Porazdelitev dreves po debelinskih stopnjah nakazuje padajočo frekvenčno porazdelitev, a če gledamo samo bukev, je porazdelitev zvonasta. To je znak, da gozd prehaja v enomerno porazdelitev, ki je nezaželena. Za izboljšanje razmer predlagamo redno gospodarjenje z gozdovi in še posebej uvajanje ostarelih delov sestojev v obnovo. Pri tem bi bilo potrebno še posebej pospeševati bukev, ki je pomembna zaradi rastiščnih razmer in dobrih varovalnih učinkov pred padajočim kamenjem.

Delovnih hipotez nismo mogli potrditi, a menimo, da jih zaradi pomanjkljivosti programske opreme tudi ne moremo dokončno ovreči. Med scenarijem brez gozda in različnimi scenariji z gozdom smo opazili le majhne razlike, kar nakazuje, da program ni najbolj prilagojen za delo v našem geografskem območju. Med različnimi scenariji z gozdom so bile te razlike še manjše, iz česar sklepamo, da natančnost programa, kjer so razlike znotraj proučevanih sestojev tako majhne, še ne dovoljuje raziskav.

Za ohranjanje in izboljšanje učinkovitosti zaščitne funkcije varovalnih gozdov se velja držati nekaj osnovnih načel:

- povečevati stabilnost in vitalnost dreves,
- upoštevati panarhično teorijo pri gospodarjenju z gozdom (Dorren in Berger, 2006b). Kar pomeni, da razumemo gozd kot dinamičen sistem, ki v različnih razvojnih fazah nudi različno stopnjo zaščite pred padajočim kamenjem. Gozdov ne moremo "prisiliti" da ostanejo v zeleni razvojni fazi,

lahko pa ugotovimo kdaj nastopi perioda, znotraj katere je potrebno ukrepati, da izboljšamo njegovo varovalno vlogo,

- ne odpirati večjih površin (vrzeli), ker se tako povečuje hitrost kamenja, lahko pa se pojavijo tudi problemi pri pomlajevanju zaradi razrasti zeliščne plasti (Kunc, 2008),
- gospodariti z gozdom v smeri malopovršinsko raznomernega in mozaičnega gozda vseh starosti in premerov (Schönenberger, 2001),
- ob poseku puščati visoke panje (Diaci in sod., 2012), (Dorren in sod., 2005),
- kamenje v tokavi (jarkih) se lahko upočasni ali ustavi s posekom dreves na obeh straneh diagonalno na smer pobočja (Dorren in sod., 2005),
- izogibamo se odprtinam v gozdu, ki si sledijo po padnici. To velja za pomlajevanje v vrzelih in trase žičnega spravila (Motta in Haudemand, 2000; Rugani in Firm, 2012),
- v enomernih in starih sestojih je nujno ukrepanje, tudi če spravila lesa ni možno izvesti. Drevesa podremo diagonalno na smer padnice terena in tako nudijo dodatno zaščito (Rugani in Firm 2012),
- v določenih primerih je primeren tudi panjevski način gospodarjenja (Rugani in Firm, 2012).

Za izločanje in ocenjevanje nevarnosti pojavljanja padajočega kamenja je uporaba GIS orodja Rockyfor3D v povezavi s terenskim delom korak naprej od drugih simulacijskih modelov in subjektivnega ocenjevanja ogroženosti. Treba pa se je zavedati, da ne glede na to, kako natančno smo si ogledali teren in kako dobre simulacijske programe imamo, absolutno točnih rezultatov ne bomo nikoli imeli, ker nas narava vedno znova preseneti.

9 POVZETEK

Namen diplomskega dela je bil na primeru prikazati uporabo orodja ViewShed in dveh različnih računalniških programov za simulacijo padajočega kamenja in kvantifikacijo varovalnega učinka gozda, za katerega smo oblikovali več scenarijev. Z različnimi metodami smo določili območja ogroženosti, jih primerjali med seboj in ugotavljali, zakaj pride do razlik med njimi.

Objekt raziskave je 750 m ceste od predora Ljubelj proti Tržiču in gozd nad cesto. Nahaja na nadmorski višini 1000 do 1470 m, relief je razgiban in strm, prevladujejo južne in jugovzhodne lege. Matična podlaga je iz apnenca in dolomita, na njej prevladuje gozdna združba *Anemone trifoliae-Fagetum*.

Najprej smo opisali lastnosti terena, ki smo ga razdelili na izvore padajočega kamenja in prehodna območja. Hkrati smo še izločili sestoje in popisali njihove značilnosti. Na objektu smo postavili 61 raziskovalnih ploskev velikosti 4 are. Ploskve smo razporedili na mreži 75 m x 75 m in na njih popisali vsa drevesa s prsnim premerom večjim od 1,27 cm. Podatke smo obdelali v programu Excel in jih uporabili v programih za izvajanje simulacij. Sestoje in teren (izvori in prehodni teren) smo izločili v programu Quantum GIS in jih v SAGA GIS konvertirali v rastrsko obliko, da smo lahko izvajali simulacije v Rockyfor3D. Drugi dve uporabljeni metodi sta bili program Rockfor^{NET} in funkcija Viewshed v programu ArcMap.

Na ploskvah smo popisali 3204 dreves in našli 19 različnih drevesnih vrst. Glede na lesno zalogo predstavlja delež bukve 71 %, smreke 22 %, gorski javor 3 %, ostale 4 % pa druge drevesne vrste. Povprečna lesna zaloga na ploskvi znaša 610 m³/ha, kar je več od idealnih 256 m³/ha za prebiralni gozd, ki smo jih dobili preko zgornje drevesne višine. Poškodbe smo opazili na 923 drevesih, kar znaša 28,8 % vseh popisanih dreves.

S programom Rockfor.net smo na regionalni cesti odkrili 2 ogrožena odseka, prvega na razdalji od 300 m do 325 m od predora in drugega na razdalji od 500 m do 525 m od predora. Rockyfor3D nam kot rezultat da več rastrskih datotek, od katerih je najbolj

primerna E_{mean} (povprečna kinetična energija kamenja). Profilni graf prikazuje 6 izrazitih viškov, ki so najbolj ogrožena območja, a se ne ujemajo najbolje s tistimi, ki smo jih določili s programom Rockfor^{NET}. Razlog temu je sama zasnova programov in količina dejavnikov, ki jih upoštevata pri padanju kamenja. Najvišja kinetična energija kamenja pri Rockfor^{NET} je znašala 175 kJ, pri Rockyfor3D pa skoraj 200 kJ. Funkcija Viewshed v programu ArcMap zazna nevarnost na zelo velikem območju, a ker upošteva zelo malo dejavnikov ne loči med različnimi stopnjami nevarnosti.

V medsebojni primerjavi različnih metod smo ugotovili, da so rezultati s programom Rockyfor3D v primerjavi z drugima metodama natančnejši, kar smo zasledili tudi v literaturi. Čeprav med različnimi scenariji nismo zaznali razlik, to ne pomeni, da so območja ogroženosti napačno določena, ker smo za izdelavo različnih scenarijev sestoj le malo spremenili. Do sedaj se problematiki padajočega kamenja ni posvečalo velike pozornosti, hkrati pa pri nas ne obstajajo zemljevidi ogroženih območij kot na primer za poplave. Rezultati te diplomske naloge dokazujejo, da je bil pri določevanju območij ogroženosti zaradi padajočega kamenja s pomočjo modernih tehnologij narejen velik napredek, ki ga lahko izkoristimo tudi pri načrtovanju del v naših varovalnih gozdovih.

10 VIRI

- Arhiv - opazovani in merjeni meteorološki podatki po Sloveniji. 2013. Agencija Republike Slovenije za okolje, Ministrstvo za kmetijstvo in okolje.
(<http://meteo.arso.gov.si/met/sl/archive/>) (3. 2. 2013)
- Azzoni A., Barbera G.L., Zaninetti A. 1995: Analysis and prediction of rockfalls using a mathematical model. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Science*, 32, 7: 709–724.
- Bauerhansl C., Berger F., Dorren L., Duc P., Ginzler C., Kleemayr K., Koch V., Koukal T., Mattiuzzi M., Perzl F., Prskawetz M., Schadauer K., Schneider W., Seebach L. 2010. Development of harmonized indicators and estimation procedures for forests with protective functions against natural hazards in the alpine space. Luxembourg, Office for Official Publications of the European Communities: 169 str.
- Berger F., Dorren L. K. A. 2007. Principles of the tool Rockfor.net for quantifying the rockfall hazard below a protection forest. *Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen*, 158, 6: 157–165.
- Bigot C., Dorren L. K. A., Berger F. 2009. Quantifying the protective function of a forest against rockfall for past, present and future scenarios using two modelling approaches. *Natural Hazards*, 49: 99–111.
- Bourrier F., Dorren L., Nicot F., Berger F., Darve F. 2009. Toward objective rockfall trajectory simulation using a stochastic impact model. *Geomorphology*, 110: 68–79.
- Brang P. 2001. Resistance and elasticity: promising concepts for the management of protection forests in the European Alps. *Forest Ecology and Management*, 145: 107–119.
- Brang P., Schönenberger W., Frehner M., Schwitter R., Thormann J.-J., Wasser B. 2006. Management of protection forests in the European Alps: an overview. *Forest Snow and Landscape Research*, 80, 1: 23–44.
- Brauner M., Weinmeister W., Agner P., Vospernik S., Hoesle B. 2005. Forest management decision support for evaluating forest protection effects against rockfall. *Forest Ecology and Management*, 207: 75–85.

- Diaci J., Beguš J., Bončina A., Breznikar A., Firm D., Greccs Z., Jošt M., Kovač M., Košir B., Kozorog E., Matijašić D., Papež J., Robek R., Rovani S., Rugani T., Zavrl Bogataj A., Zafran J. 2012. Zaključki in usmeritve posvetovanja Varovalni gozdovi: presoja naravnih nevarnosti, načrtovanje in gospodarjenje. *Gozdarski vestnik* 70, 7–8: 341–343.
- Diaci J., Firm D. 2011. Long-term dynamics of a mixed conifer stand in Slovenia managed with a farmer selection system. *Forest Ecology and Management*, 262: 931–939.
- Dorren L. K. A. 2003. A review of rockfall mechanics and modelling approaches. *Progress in Physical Geography*, 27, 1: 69–87.
- Dorren L. K. A. 2012. Rockyfor3D (v5.0) revealed. Transparent description of the complete 3D rockfall model. *EcorisQ paper*.
- Dorren L. K. A., Berger F. 2006a. Balancing tradition and technology to sustain rockfall – protection forests in the Alps. *Forest Snow and Landscape Research*, 80, 1: 87–98. <http://www.ecorisq.com> (7. 9. 2012)
- Dorren L. K. A., Berger F. 2006b. Panarchy and sustainable risk prevention by managing protection forests in mountain areas. V: *RISK21- Coping with Risks due to Natural Hazards in the 21st Century*. 2006. Amman W. J., Dannenmann S., Vulliet L. (Ur.). Monte Verita, Ascona, (Switzerland): 203–214.
- Dorren L. K. A., Berger F. 2006c. Stem breakage of trees and energy dissipation during rockfall impacts. *Tree Physiology*, 26: 63–71
- Dorren L. K. A., Berger F., Hir C., Mermin E., Tardiff P. 2005. Mechanisms, effects and management implications of rockfall in forests. *Forest Ecology and Management* 215: 183–195.
- Dorren L. K. A., Berger F., Johnsson M., Krautblatter M., Molk., Stoffel M., Wehrli A. 2007. State of the art in rockfall – forest interactions. *weizerische Zeitschrift für Forstwesen*, 158, 6: 128–141
- Dorren L. K. A., Berger F., Putters U. S. 2006. Real-size experiments and 3-D simulation of rockfall on forested and non-forested slopes. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 6: 145–153.
- Dorren L. K. A., Maier B., Putters U. S., Seijmonsbergen A. J. 2004. Combining field and modelling techniques to assess rockfall dynamics on a protection forest hillslope in the European Alps. *Geomorphology*, 57: 151–167.

- Dussage-Peisser C., Helmstetter A., Grasso J. R., Hantz D., Desvarreux P., Jeannin M., Giraud A. 2002. Probabilistic approach to rock fall hazard assessment: potential of historical data analysis. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 2: 15–26.
- Evans S.G., Hungr, O. 1993: The assessment of rockfall hazard at the base of talus slopes. *Canadian Geotechnical Journal*, 30, 4: 620–636
- Frehner, M.; Wasser, B.; Schwitter, R., 2005. Nachhaltigkeit und Erfolgskontrolle im Schutzwald. Wegleitung für Pflegemassnahmen in Wäldern mit Schutzfunktion. Bern, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL), 564 str.
- <http://www.bafu.admin.ch/publikationen/publikation/00732/index.html?lang=de&download=NHZLpZig7t,lnp6I0NTU042I2Z6ln1acy4Zn4Z2qZpnO2Yuq2Z6gpJCGdoF8fWym162dpYbUzd,Gpd6emK2Oz9aGodetmqaN19XI2IdvoaCVZ,s-.pdf>
(22. 4. 2013)
- Frey W., Thee P. 2002. Avalanche protection of windthrow areas: A ten year comparison of cleared and uncleared starting zones. *Forest Snow and Landscape Research*, 77, 1/2: 89–107.
- Gozdnogospodarski načrt Gozdnogospodarske enote Tržič 1971–1980. 1971. Kranj, Zavod za gozdove Slovenije, OE Kranj: 219 str.
- Gozdnogospodarski načrt Gozdnogospodarske enote Tržič 1995–2004. 1995. Kranj, Zavod za gozdove Slovenije, OE Kranj: 219 str.
- Gozdnogospodarski načrt Gozdnogospodarske enote Tržič 2005–2014. 2005. Kranj, Zavod za gozdove Slovenije, OE Kranj: 219 str.
- Grimm V., Wissel C. 1997. Babel, or the ecological stability discussion: an inventory and analysis of terminology and a guide for avoiding confusion. *Oecologia*, 109: 323–334
- Gsteiger P. 1993. Steinschlagschutzwald. Ein Beitrag zur Abgrenzung, Beurteilung und Bewirtschaftung. *Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen*, 144: 115–132
- Guček M., Bončina A., Diaci J., Firm D., Poljanec A., Rugani T. 2012. Gozdovi s poudarjeno zaščitno in varovalno funkcijo: značilnosti, valorizacija in gospodarjenje. *Gozdarski vestnik*, 70, 2: 59–71.

- Hantz D., Vengeon J. M., Dussage-Peisser C. 2003. An historical, geomechanical and probabilistic approach to rock-fall hazard assessment. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 3: 693–701.
- Hoek Evert. 2007. *Practical Rock Engineering*.
http://www.roscience.com/hoek/corner/9_Analysis_of_rockfall_hazards.pdf (20. 3. 2013)
- Jaboyedoff M., Dudt J. P., Lablouse V. 2005. An attempt to refine rockfall hazard zoning based on the kinetic energy, frequency and fragmentation degree. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 5: 621–632.
- Jaboyedoff M., Lablouse V. 2003. Preliminary assessment of rockfall hazard based on GIS data. *Technology roadmap for rock mechanics*, South African Institute of Mining and Metallurgy.
http://www.quanterra.org/recent_papers/Preliminary%20assessment%20of%20rockfall%20hazard%20based%20on%20GIS%20data.pdf (10. 12. 2012)
- Jancke O., Dorren L. K. A., Berger F., Fuhr M., Köhl. 2009. Implications of coppice stand characteristics on the rockfall protection function. *Forest Ecology and Management*, 259: 124–131.
- Kozorog E., Pisek R., Matijašić D. 2012. *Gospodarjenje z varovalnimi in zaščitnimi gozdovi v Sloveniji. V: Varovalni gozdovi: presoja naravnih nevarnosti, načrtovanje in gospodarjenje: zbornik razširjenih povzetkov predavanj*. Diaci J. (ur.). Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire: 41–43
<http://web.bf.uni-lj.si/go/varovalnigozd/rezultati.html> (18. 3. 2013)
- Krautblatter M., Dikau R. 2007. Towards a uniform concept for the comparison and extrapolation of rockwall retreat and rockfall supply. *Geografiska Annaler. Series A, Physical Geography*, 89 A (1): 21–40.
- Kunc K. (2008). *Vpliv gospodarjenja na stabilnost varovalnih gozdov nad glavno cesto Godovič – Idrija: diplomsko delo* (Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo). Ljubljana, samozaložba: 60 str.
- Lang A., Moya J., Corominas J., Schrott L., Dikau R. 1999. Classic and new dating methods for assessing the temporal occurrence of mass movements. *Geomorphology*, 30: 33–52.

Letno poročilo o gozdovih Zavoda za gozdove Slovenije (2011)

http://www.zgs.gov.si/fileadmin/zgs/main/img/PDF/LETNA_POROCILA/2011_o_gozdovih.pdf (14. 4. 2013)

Motta R., Haudemand J. C. 2000. Protective Forests and Silvicultural Stability: an Example of Planning in the Aosta Valley. *Mountain Research and Development*, 20, 2: 74–81.

O'Hara K. L. 2006. Multiaged forest stands for protection forests: concepts and applications. *Forest Snow and Landscape Research*, 80, 1: 45–55.

Perret S., Stoffel M., Kienholz H. 2006. Spatial and temporal rockfall activity in a forest stand in the Swiss Prealps—A dendrogeomorphological case study. *Geomorphology*, 74: 219–231.

Pravilnik o načrtih za gospodarjenje z gozdovi in upravljanje z divjadjo.

Ur. l. RS št. 91/2010

Pregledovalnik. 2013. Zavod za gozdove Slovenije, Ministrstvo za kmetijstvo in okolje.

<http://www.zgs.gov.si/slo/delovnapodrocja/gozdnogospodarskonactovanje/pregledovalnik-gozdnogospodarskih-in-gozdnogojitvenih-nactrov/index.html> (22. 3. 2013)

Raetzo H., Lateltin O., Bollinger D., Tripet J. P. 2002. Hazard assessment in Switzerland – Codes of practice for mass movements. *Bulletin of Engineering, Geology and The Environment*, 61: 263–268.

Rugani T., Firm D. 2012. Varovalni gozdovi v Sloveniji: presoja naravnih nevarnosti in gojenje gozdov. V: *Varovalni gozdovi: presoja naravnih nevarnosti, načrtovanje in gospodarjenje: zbornik razširjenih povzetkov predavanj*. Diaci J. (ur.). Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire: 62–64
<http://web.bf.uni-lj.si/go/varovalnigozd/rezultati.html> (18. 3. 2013)

Sass O. in Oberlacher M. 2012. Is climate change causing increased rockfall frequency in Austria? *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 12: 3209–3216.

Schönenberger W. 2001. Cluster afforestation for creating diverse mountain forest structures – a review. *Forest Ecology and Management*, 145: 121–128.

Schütz J.-P. 2001. *Der Plenterwald und weitere Formen strukturierter und gemischter Wälder*. Berlin, Parey: 207 str.

- Stoffel M. 2006. A Review of Studies Dealing with Tree Rings and Rockfall Activity: The Role of Dendrogeomorphology in Natural Hazard Research. *Natural Hazards*, 39: 51–70
- Stokes A. 2006. Selecting tree species for use in rockfall-protection forests. *Forest Snow and Landscape Research*, 80, 1: 77–86.
- Štetje prometa 2000 – 2011. Ljubljana, Ministrstvo za infrastrukturo in prostor, Direkcija RS za ceste.
- Wehrli A., Dorren L. K. A., Berger F., Zingg A., Schönenberger W., Brang P. 2006. Modelling long-term effects of forest dynamics on the protective effect against rockfall. *Forest Snow and Landscape Research*, 80, 1: 57–76.
http://www.dc.gov.si/si/delovna_podrocja/promet/ (30. 4. 2012)
- Zakon o gozdovih Ur. l. RS št. 30/1993

ZAHVALA

Iskrena hvala mentorju prof. dr. Juriju Diaciju za veliko pripravljenost, usmeritve in koristne napotke med pisanjem diplomskega dela.

Recenzentu prof. dr. Andreju Bončini se lepo zahvaljujem za recenzijo dela.

Najlepša zahvala Tihomirju Ruganiju za njegove napotke, komentarje, usmeritve in pomoč pri številnih dilemah. Hvala tudi Dejanu Firmu za občasne pripombe in pomoč pri računalniškem delu.

Zahvaljujem se Alešu Veselu iz ZGS za pomoč pri podatkih o objektu raziskave.

Maji Božič se zahvaljujem za pregled naloge.

Hvala Aleksandri Repe za lektoriranje diplomskega dela in Nini Mandl za pregled izvlečka v angleščini.

Petra Kajdiž, Domen Cajnko, Jure Arnež, Peter Grandič in Špela Ščap so mi pomagali pri popisovanju raziskovalnih ploskev, za kar se jim lepo zahvaljujem.

Hvala mami, ki mi je stala ob strani ob pisanju diplome.

Priloga A: obrazec za popis ploskve – prva stran

Šl. Plošče	
Šl. poligona Podlajci	
Šl. sestoja	
Haklon (%)	
ekspozicija	
Kamninska podlaja	
Mikrorelief	
Makrorelief	
Kamnitost (%)	
Skalovitost (%)	
Pokrovnost zeliščnega sloja (%)	
Pokrovnost spodnjega sloja (%)	
Pokrovnost srednjega sloja (%)	
Pokrovnost zgornjega sloja (%)	
GPS X	
GPS Y	
Nadm. višina	

[illegible]

[illegible]

Priloga C: obrazec za popis lastnosti terena

General									
Date*		Nr. Polygon*		# each polygon represents a homogeneous unit; size depends on the mapping scale					
Location*		Slope angle*	(° / %)						
Name*		Zone*	☐ start / source	☐ transit	☐ deposit				
Polygon characteristics									
1. Dominating rock (deposited in the polygon or potentially falling from release area)									
Block shape	☐ 1. rectangle	☐ 2. ellipsoid	☐ 3. Sphere	☐ 4. Disc					
Block dimensions (d1, d2, d3): (m) x (m) x (m)									
Rock density (kg.m ⁻³):									
2. Soil / underground type in the polygon									
Material constituting the underground	☐ river / swamp / other material in which a rock could penetrate completely	☐ fine soil material (depth > ~100 cm)	☐ fine soil material (depth < ~100 cm) / sand/gravel mix in the valley	☐ scree (Ø < ~10 cm) / medium compact soil with small rock fragments / forest road	☐ talus slope (Ø > ~10 cm) / compact soil with large rock fragments	☐ bedrock with thin weathered material or soil cover	☐ bedrock	☐ asphalt road	
(soiltype) values needed for Rockyfor3D	0	1	2	3	4	5	6	7	
3. Surface roughness in the polygon									
MOH: typical obstacle height normal to the slope surface (m) that block encounters in 70%, 20% and 10% of the cases during a rebound on the slope surface. Should be measured looking down the slope!						MOH for 70% of the sample area (rg70)		0 - 100 (m)	
						MOH for 20% of the sample area (rg20)		0 - 100 (m)	
						MOH for 10% of the sample area (rg10)		0 - 100 (m)	
Lying tree stems*	Mean height =		m		Area covered =		%		
4. Forest*									
Representative plot size: m x m									
DBH# (cm)	# DBH: Tree diameter at breast height Record all the DBH ≥ 5 cm measured in the plot: e.g., 8, 31, 17, 13, ...								
Stems / ha									
Mean DBH (cm)			Coniferous (%)						
Stddev DBH (cm)									
Species*									
5. Rockfall activity indicators / silent witnesses*									
Mean nr. of rockfall impacts on trees*			Height(s) of rockfall impacts on trees (m)*						
Depth impact craters (m)*			Fresh, deposited rocks in Polygon*		Yes / No				
6. Remarks / sketch*									

* optional fields; these are not required for Rockyfor3D